



XXXVIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

ACTAS DE DISERTACIONES Y CONTRIBUCIONES VOLUNTARIAS

4 DE OCTUBRE DE 2024
CONCORDIA, ENTRE RÍOS



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina



CoFRU
Consortio Forestal Río Uruguay





XXXVIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

ACTAS DE DISERTACIONES Y CONTRIBUCIONES VOLUNTARIAS

4 DE OCTUBRE DE 2024
CONCORDIA, ENTRE RÍOS



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina





XXXVIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

ORGANIZAN



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina



CoFRU
Consortio Forestal Río Uruguay



SALTO GRANDE
ARGENTINA - URUGUAY



ACOMPAÑAN

PATROCINAN



COINSA



CoPAER

COLEGIO DE PROFESIONALES
DE LA AGRONOMÍA DE ENTRE RÍOS



JOHN DEERE

Agronorte



Paraná
maquinarias



CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES



CORRIENTES

Ministerio de Producción
Secretaría de Desarrollo Foresto Industrial
Dirección de Recursos Forestales



XXXVIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

AUSPICIAN



APOYAN





XXXVIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

APOYAN





XXXVIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

AGRADECEMOS POR LOS PRESENTES DONADOS A



AYMARÁ, RODRÍGUEZ JOANNÁS
ASESORAMIENTO ENOLÓGICO.
TEL: 0345 154064326



Asociación Cooperadora
De la EEA Concordia





COMISIÓN ORGANIZADORA

ORGANIZACIÓN GENERAL

EEA Concordia-INTA: Ciro Mastrandrea, Leonel Harrand, María de los Ángeles García, Carla S. Salto, Carlos de la Peña, Johanna Báez y Matías S. Martínez.

AIANER: Paola Velázquez, Paula Dacunda, Hernán Arriola y Juan Rovira

Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial: Mario Flores Palenzona

Consorcio Forestal Río Uruguay (COFRU): Sebastián Alberti

COMISIÓN EVALUADORA DE TRABAJOS VOLUNTARIOS

Dra. Gabriela Posse Beaulieu. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Clima y Agua, Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN), Hurlingham, Buenos Aires.

Dra. Ing. Agr. Ana Beatriz Wingeyer. INTA, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná, Entre Ríos.

Dr. Ing. Agr. Diego López Lauenstein. INTA, Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Unidad de Estudios Agropecuarios INTA-CONICET. Córdoba, Argentina.

Ing. Ftal. Ciro A. Mastrandrea. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Matías S. Martínez. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) María de los Ángeles García. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Agr. (MSc.) Sergio O. Ramos. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Leonel Harrand. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carla S. Salto. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carlos de la Peña. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. Mario Flores Palenzona. Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (SAGyP-MEC).

Diseño y diagramación: Carla S. Salto

Foto de tapa: Leonel Harrand



ÍNDICE

PREFACIO	1
RECONOCIMIENTO ANUAL	3
DISERTACIONES	4
BOSQUES Y PLANTACIONES FRENTE A SEQUÍAS Y OLAS DE CALOR: LOS DESAFÍOS DE UNA SILVICULTURA “CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE” PARA ADAPTAR LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AL CAMBIO CLIMÁTICO	5
DE LA HUELLA A LA OPORTUNIDAD, ESTRATEGIAS ECOLÓGICAS PARA EL ÉXITO COMERCIAL.....	16
NORMALIZACIÓN EN PRESERVACIÓN DE MADERA	20
PRESERVACIÓN DE MADERAS CON AUTOCLAVE: PROCESO DE CELULA LLENA, MERCADO, REGISTRO Y PRODUCTOS	20
UN CAMINO PARA LA FORESTO INDUSTRIA ARGENTINA ¿QUÉ NECESITAMOS PARA DESARROLLARLA Y QUÉ ES REALIZABLE?	24
CONTRIBUCIONES VOLUNTARIAS	30
EVALUACIÓN GENÉTICA DEL CRECIMIENTO INICIAL DE CLONES puros e híbridos COMERCIALES DE <i>Eucalyptus</i> EN CORRIENTES, ARGENTINA	31
EVALUACIÓN DE ESPECIES Y CLONES DE EUCALIPTOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA – ARGENTINA	36
CLONES DE EUCALIPTOS EN LA REGION DE SÁENZ PEÑA, CHACO. PARTE 1: RESPUESTA A LAS HELADAS	41
CLONES DE EUCALIPTOS EN LA REGION DE SÁENZ PEÑA, CHACO. PARTE 2: COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS	46
FORESTACIÓN CON CLONES HÍBRIDOS DE EUCALIPTO EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE ENTRE RÍOS, ARGENTINA	51
EFFECTO DE LAS HELADAS EN CLONES DE <i>Eucalyptus grandis</i> FERTILIZADOS AL ESTABLECIMIENTO	56
FUNCIONES DE ALTURA, VOLUMEN Y FORMA PARA <i>Pino híbrido</i> F2 CULTIVADO EN LA ZONA NOROESTE DE MISIONES, ARGENTINA.....	61
COSECHA FORESTAL: MAQUINARIA Y OPERADORES EN EL RENDIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE	66
DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD PARA PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus grandis</i> EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS	70
IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ÁREAS QUEMADAS EN PLANTACIONES FORESTALES POR MEDIO DE SENSORES REMOTOS EN LA ZONA NORTE DE MISIONES	75
RESPUESTA DIFERENCIAL A LA MICORRIZACIÓN EN PLANTINES DE EUCALIPTO	80
ESTUDIOS PRELIMINARES DE REPELENCIA DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS	85
CARACTERIZACIÓN DEL COLOR DE LA MADERA DE 20 MATERIALES DEL GÉNERO <i>Eucalyptus</i> DE ENTRE 6 Y 7 AÑOS.....	89
ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA POTENCIALIDAD DEL COLOR DE LA MADERA COMO VARIABLE PREDICTIVA PARA IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DEL GÉNERO <i>Eucalyptus</i>	94



RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES, RIGIDEZ Y RESISTENCIA EN PIEZAS DE ESCUADRÍAS COMERCIALES DE PINO HÍBRIDO.....	98
EVALUACIÓN DEL RAJADO EN ROLLO DE MATERIALES CLONALES Y DE SEMILLA DE <i>Eucalyptus</i>	103
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE <i>Pinus elliotii</i> Engelm. PROVENIENTE DE MATERIAL GENÉTICO MEJORADO EN LA PROVINCIA DE MISIONES.....	108
DURABILIDAD NATURAL EN MADERA JUVENIL DE <i>Eucalyptus sideroxylon</i> (A. Cunn. ex Woolls): PRIMEROS RESULTADO EN PUDRICIÓN BLANCA.....	113
EVALUACIÓN DE ALBURA Y DURAMEN DE EJEMPLARES JÓVENES DE ORIGEN CAMPO DURAN DE ALGARROBO BLANCO.....	118
PRIMERAS EXPERIENCIAS FORESTALES CON ESPECIES NATIVAS EN EL SUR DE CÓRDOBA.....	123
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES DE <i>Neltuma alba</i> EN EL SUR DE SU DISTRIBUCIÓN EN ARGENTINA.....	128
INCIDENCIA DE LA CORTA SOBRE LA DINÁMICA DE UN BOSQUE ALTO ABIERTO DEL CHACO HÚMEDO.....	133
APORTES A LA MITIGACIÓN Y ADAPTABILIDAD DE LAS FORESTACIONES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE LA REGIÓN PAMPEANA	138
CAMBIO CLIMÁTICO EN CONCORDIA. UNA MUESTRA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA REGIÓN	143
ESTIMACIÓN DEL COSTO DE ABATIMIENTO DE CAPTURA DE CARBONO A PARTIR DEL MANEJO SILVÍCOLA INTENSIVO EN BOSQUE NATIVO DEGRADADO DEL CENTRO DE ARGENTINA	148
ANÁLISIS ESPACIAL DE LA ABUNDANCIA DE <i>Lactarius deliciosus</i> MEDIANTE ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y HUMEDAD: UN ENFOQUE MICOLÓGICO BASADO EN LA TELEDETECCIÓN Y MUESTREO DE PARCELAS.....	153
ANEXO	158
CARTILLA DE CAMPO.VISITA A CAMPO LA LATA, FORESTAL ARGENTINA S.A.....	159



PREFACIO

Las Jornadas Forestales de Entre Ríos, uno de los eventos con mayor antigüedad y trayectoria a nivel nacional, continúan ofreciendo un espacio para intercambiar conocimientos, experiencias y miradas; tiempo para el diálogo entre amigos (los de mucho tiempo y los más recientes); para los vínculos profesionales e institucionales; también para iniciar o fortalecer las relaciones comerciales del sector foresto-industrial. En este sentido, queremos expresar nuestra gratitud a las empresas e instituciones que, a lo largo de esta extensa trayectoria, nos han brindado su apoyo año tras año y han permitido que este evento sea posible y mantenga su vigencia a pesar de las dificultades políticas y económicas de nuestro país.

A través de estos años la comisión organizadora se ha ido renovando, como también las jornadas han cambiado su formato, tratando de adaptarse a los tiempos y a las expectativas de un público renovado. Luego de la pandemia, la virtualidad llegó para quedarse, ofreciendo la posibilidad de participar virtualmente de eventos, acceder a contenidos audiovisuales, participar de charlas, cursos, congresos. A pesar de esto, y de su impacto reflejado en una disminución de asistentes en los últimos años, seguimos apostando al encuentro personal y al fortalecimiento de los vínculos logrados. Esto no sería posible sin todos los que nos acompañan, a quienes agradecemos su apoyo.

Este año, para mantener un formato actualizado, la propuesta es nuevamente ofrecer un solo día donde se combinen exposiciones técnicas durante la mañana y diferentes opciones para continuar después del mediodía, con la posibilidad de elegir entre un curso de mantenimiento de conjunto de corte, afilado y seguridad en procesadores; visita de plantaciones operativas y ensayos a campo; visita a una planta de tableros; o recorrida turística por el Museo y la Represa de Salto Grande. Los temas de las charlas técnicas han sido escogidos por su relevancia actual y abarcan aspectos de la producción primaria, la industria y el mercado. Además, este año nuevamente numerosos trabajos voluntarios presentan interesantes hallazgos en diversos temas y enfoques relacionados a la actividad forestal.

El efecto del cambio climático, con una velocidad mayor que la capacidad de los árboles para adaptarse, se ha evidenciado durante la sequía 2020-2023 en diversos eventos, como la mortalidad de grandes superficies de plantaciones causada por estrés hídrico y térmico. Esta situación, además de otras de similar impacto económico, requiere de un manejo que considere múltiples aspectos para lograr una producción sostenible, que se adapte al cambio climático y con capacidad de mitigar sus efectos. María Elena Fernández desarrolla, en base a ejemplos de eventos extremos y sus consecuencias en forestaciones de la Mesopotamia, los conceptos y desafíos que implican manejar sistemas forestales bajo este esquema.

Siguiendo con la temática ambiental, demostrar que se produce responsablemente, considerando los procesos y su impacto, resulta un desafío y una oportunidad. Conocer la huella de carbono de las actividades que integran la cadena foresto-industrial es el primer paso para trazar un plan de reducción de emisiones, determinar la eficiencia de todo el proceso, y mostrar la responsabilidad social empresarial. Mariano Minaglia presenta las oportunidades para mejorar el negocio forestal al incluir estos cálculos y tomar acciones correctivas.

La normalización permite establecer las condiciones mínimas que debe cumplir un producto, proceso o sistema de gestión. En lo que se refiere a procesos relacionados a las industrias forestales, las Normas IRAM establecen cómo debe realizarse el proceso de preservación industrial con autoclave, los requisitos de la materia prima y los preservantes que se deben utilizar. Además de presentar en detalle las normas y particularidades referidas a la preservación de madera, Gonzalo Leguizamón y Guillermo Malavasi se refieren al mercado para madera impregnada, los productos utilizados en Argentina y su registro en SENASA, y el futuro de la industria de preservación en nuestro país.



En referencia a mercados y el contexto actual, Leandro Mora Alfonsín presenta las oportunidades de la cadena de valor foresto-industrial argentina; se enfoca en los desafíos para identificar nuevos mercados y mejorar el aprovechamiento e industrialización de los recursos forestales de forma integral; y plantea objetivos y estrategias para alcanzarlos.

Deseamos que esta nueva propuesta sea exitosa y amena para el público, y esperamos que disfruten de un maravilloso día compartiendo con otros sus experiencias de vida personales y laborales.

Comisión Organizadora de las Jornadas Forestales de Entre Ríos



RECONOCIMIENTO ANUAL

En esta oportunidad la comisión organizadora de las XXXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos entregará el reconocimiento anual al Grupo de Estudios de Maderas- GEMA- de la Universidad Tecnológica Nacional UTN, Regional Concepción del Uruguay. El grupo, tiene la particularidad de estar integrado mayoritariamente por Ingenieros Civiles, especializados en el uso y cálculo con madera, cosa poco habitual en nuestro sector. El grupo GEMA se conformó hace más de 25 años con la finalidad de integrar a la Universidad con el sector forestoindustrial regional, estudiando el comportamiento resistente y elástico de las maderas de la región para usos estructurales y asesorando a empresas madereras sobre la calidad de las maderas y los productos para uso en estructuras como Madera Laminada Encolada Estructural, muros de corte, entre otros.

Por la excelencia de los investigadores que lo integran y su equipamiento, el grupo GEMA trascendió el ámbito regional, transformándose en un referente nacional e internacional, siendo uno de los socios fundadores de la RITIM (Red Nacional de Instituciones en Tecnología de Madera), ejerciendo su presidencia. En este sentido, también se integró trabajando en el ámbito del Centro de Desarrollo Forestoindustrial (CEDEFI), en conjunto con el INTA-INTI y el Grupo Construcción en Madera de la UCU.

Entre sus numerosas acciones podemos resaltar el haber generado las Normas IRAM sobre Vigas Laminadas; numerosos estudios de la madera de *Eucalyptus grandis* y sus productos, así como estudios en araucaria, pinos y álamos, siendo, tal vez, la de mayor trascendencia su activa participación en la redacción del primer Reglamento Argentino de Estructuras de Madera Cirsoc 601, publicado en 2016, donde se definen los métodos y disposiciones generales a emplear en el diseño y construcción de estructuras para edificaciones y obras civiles con madera aserrada, madera laminada encolada y productos derivados de la madera, con sus manuales y guías de aplicación, como la Guía para el proyecto de estructuras de madera con bajo compromiso estructural, publicada en 2018. Todas esas normas permitieron posicionar a la madera como "Material Tradicional", allanando el camino para su aplicación en la construcción de viviendas de todo el país. Por su gran aporte a la región, y al país, vaya el reconocimiento de todo nuestro sector forestal.



DISERTACIONES



BOSQUES Y PLANTACIONES FRENTE A SEQUÍAS Y OLAS DE CALOR: LOS DESAFÍOS DE UNA SILVICULTURA “CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE” PARA ADAPTAR LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

María Elena FERNÁNDEZ¹

RESUMEN

El cambio climático global, caracterizado por el aumento en la temperatura media y por la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos, posee impactos de diversa índole en los sistemas naturales y productivos. Si bien el aumento de temperatura media puede resultar en incrementos de la productividad primaria en regiones limitadas por bajas temperaturas, en las últimas décadas se han observado eventos de mortalidad masiva de árboles producto de fenómenos climáticos extremos, en su mayoría con combinación de sequía y altas temperaturas, en todo tipo de bosques a nivel global. Si bien son poco frecuentes los reportes de mortalidad masiva en bosques cultivados, debido a las condiciones de manejo que favorecen su desempeño, recientemente se han registrado eventos de este tipo en nuestro país, con un importante impacto económico. En esta charla se propone orientar la silvicultura al aumento de la adaptabilidad climática, basándose en conocimiento ecofisiológico de las especies, mediante una mirada integral que contemple la variabilidad de los genotipos, la selección del sitio y el manejo adaptativo. Se presentan ejemplos con especies de interés para la región mesopotámica argentina y se discuten las incertidumbres y desafíos para lograr sistemas forestales “climáticamente inteligentes”.

Palabras clave: *ecofisiología de plantaciones, adaptabilidad climática, mortalidad por estrés abiótico*

1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de cambio climático (CC) se caracteriza por un aumento (de distinta magnitud de acuerdo a la región) en la temperatura media y en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos (IPCC, 2023), que se viene observando en el último siglo en concordancia con el aumento de la concentración de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, producto mayormente de las actividades antrópicas. Si bien en nuestro planeta han ocurrido cambios climáticos a escala temporal geológica, y los sistemas biológicos han evolucionado adaptándose a dichos cambios (o perecido), la velocidad de cambio actual no tiene precedentes y esto conlleva a que diversos sistemas biológicos no sean capaces de migrar y/o adaptarse a las nuevas condiciones dentro de los plazos requeridos. Los bosques son sistemas especialmente vulnerables en este sentido debido a la larga duración de la vida media de los individuos, que son sometidos a condiciones muy variables durante su ontogenia. Para poder adaptarse a estos cambios rápidos, las especies arbóreas deberán migrar (espontáneamente o de manera asistida por los humanos) o bien aclimatarse mediante plasticidad fenotípica. La vulnerabilidad de los bosques se vio evidenciada en la primera revisión que se realizó a nivel global sobre eventos de mortalidad masiva de árboles que se publicó en 2010 (Allen et al, 2010) y que fue actualizada por Hartmann et al (2018). En estos trabajos se concluyó que la mortalidad -rápida y simultánea- de árboles adultos se ha observado en todos los biomas boscosos y en todos los tipos funcionales de árboles, es decir, no son fenómenos aislados o circunscriptos a alguna región en particular. Si bien en varios eventos la muerte de los árboles se produce por la combinación de síntomas de estrés abiótico con ataque de plagas -que se ven favorecidas por las altas temperaturas-, en un alto porcentaje de casos (aprox. 70%) la mortalidad se produce por la combinación

¹ IPADS Balcarce (INTA CONICET), Grupo Ecología Forestal Tandil. fernandez.maria@inta.gob.ar

de sequía (escasez de agua en suelo, sequedad en la atmósfera) y olas de calor (una secuencia de días con temperaturas máximas más altas de lo normal), fenómeno denominado en inglés como “hotter-drought” (Hammond et al, 2022). Esta combinación de fenómenos climáticos lleva a sobrepasar umbrales de tolerancia fisiológica en las especies, conduciéndolas a un punto de “no-retorno” (e.g. Preisler et al 2020), aún en aquellas descritas como de alta tolerancia a sequía (e.g. Kannenberg et al, 2021).

Estos fenómenos han sido mayormente observados en árboles adultos creciendo en bosques naturales. Comúnmente se postula que las plantaciones forestales, intensivamente manejadas, están exentas de estos riesgos debido a las condiciones favorables de disponibilidad de recursos (por sitio y/o manejo) que maximizan la productividad. Sin embargo, la realidad demuestra que estos supuestos no siempre se cumplen, con reportes de mortalidad por “hotter-droughts” en plantaciones comerciales forestales en algunos lugares del mundo (Carnegie et al, 2022; Pascual et al 2022), incluyendo el evento de gran magnitud producido en la Pcia. de Corrientes, Argentina, que tuvo su pico en el año 2022 (ver más abajo). Consecuentemente, el tema de la mortalidad de árboles frente a los fenómenos climáticos extremos deja de ser solo una preocupación ligada a los bosques nativos -y los servicios ambientales que prestan- para trasladarse también al sector de bosques cultivados. Así, frente a la “leche derramada” (o a las miles de hectáreas de árboles muertos) surgen las preguntas: ¿Qué y dónde debemos plantar? ¿Cómo debemos manejar las plantaciones frente a estos nuevos escenarios climáticos?

2. LA NECESIDAD DE UNA “NUEVA” SILVICULTURA

Esta ponencia no trae respuestas acabadas, más bien pretende abrir interrogantes, presentar evidencia fragmentaria y proponer una mirada frente a la cuestión, abierta al debate.

Frente a los desafíos que impone el CC, es útil el concepto de “Agricultura Climáticamente Inteligente” (FAO, 2019), referido al enfoque que propone desarrollar sistemas productivos que cumplen con los siguientes tres objetivos de manera simultánea: 1) el aumento sostenible de la productividad y los ingresos agrícolas; 2) la adaptación y la creación de resiliencia ante el cambio climático; y 3) la reducción y/o absorción de GEI. Este concepto, desarrollado como propuesta para los sistemas agrícola-ganaderos, bien puede extrapolarse a la producción forestal. Sin embargo, aquí proponemos que, garantizando la adaptabilidad de los sistemas forestales, es decir, operando principalmente a nivel del segundo componente del concepto, es posible contribuir a los otros dos como consecuencia directa (Fig. 1). En este sentido, la absorción de GEI en biomasa o suelos forestales (tanto secuestro de carbono como oxidación de metano) es un servicio ambiental intrínsecamente ligado a los sistemas forestales. Y a su vez, la sostenibilidad de la actividad va a depender tanto de la producción sostenida (es decir, resistente o al menos resiliente a la variabilidad climática) de los bienes directos tradicionales como la madera, como también de mercados y preferencias de consumo asociados a otros servicios ecosistémicos, como la mitigación de GEI. Por lo tanto, en contraposición con una silvicultura que históricamente ha priorizado la productividad y en menor medida, la calidad de los productos de acuerdo a los fines industriales se plantea como estratégica la visión de una silvicultura orientada a aumentar la adaptabilidad de los sistemas forestales frente a la variabilidad climática (Fig. 1).

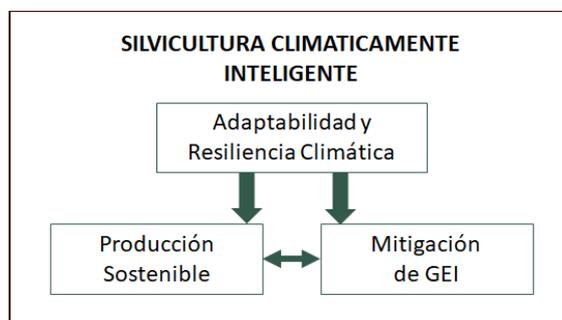


Figura 1. Los tres componentes que debe perseguir una Silvicultura Climáticamente Inteligente, basados en la propuesta de la FAO para la Agricultura. En esta propuesta, se plantea que haciendo foco en el componente de adaptabilidad y resiliencia es posible generar una retroalimentación positiva hacia los otros dos.

Una pregunta importante en este contexto es cuáles son los compromisos entre productividad/calidad de los productos y resistencia o resiliencia frente al estrés ambiental. Este compromiso puede darse - en mayor o menor medida- debido a que la madera de los árboles, es decir, el tejido xilemático, se encuentra en el punto de convergencia de los tres procesos: la productividad (mediado por la eficiencia de conducción de agua desde el suelo a las hojas); la calidad industrial de los productos derivados de la madera, principal producto del bosque -aunque no el único-; y la resistencia al estrés abiótico, especialmente a estrés hídrico y heladas (mediado por la seguridad del xilema en términos de vulnerabilidad a la cavitación por tensión y por frío). Los tres procesos dependen de la anatomía, arreglo tridimensional y ultraestructura de las células que componen el xilema, y sus conexiones con el resto de la planta. La madera es la que permite también el secuestro de C a largo plazo por parte de los bosques. Ahora bien, a nivel de grandes grupos taxonómicos, en general existe un compromiso entre eficiencia y seguridad del sistema conductivo (Gleason et al, 2016), y por ende, entre productividad y tolerancia a estrés. Pero, ¿qué sucede a nivel intraespecífico? ¿Es posible sortear estos compromisos dentro de especies de interés? Si no lo es, ¿cuál es el punto de optimización a perseguir y con qué herramientas podemos alcanzarlo?

Para responder a estos interrogantes y aproximarnos al desarrollo de una silvicultura climáticamente inteligente, el conocimiento científico y la gestión forestal deberían poseer una visión integral que considere tres aspectos: el sitio o ambiente de plantación; la genética y el manejo adaptativo (Fig. 2). Podrá argumentarse que estos tres elementos siempre se han considerado, de alguna u otra forma, en el desarrollo forestal, y es verdad. Pero, al mismo tiempo, también es cierto que no se los ha analizado desde la adaptabilidad climática y al menos a nivel de desarrollo del conocimiento, rara vez estos tres grandes aspectos se trabajan juntos, posiblemente debido a la complejidad que conlleva el trabajo interdisciplinario en una era en la que la ultra-especialización ha levantado muros invisibles y la cantidad de conocimiento disponible lo hace prácticamente inabarcable. Los problemas complejos requieren soluciones complejas, y éstas solo pueden ser pensadas mediante el aporte conjunto y transversal de todas las miradas posibles (Fig. 2). A este esquema que remite básicamente a los aspectos biológicos que hacen a la producción forestal, como primer cuello de botella de la misma, luego deben sumársele consideraciones económicas, financieras, de legislación, sociales, etc., que exceden los objetivos de esta presentación.

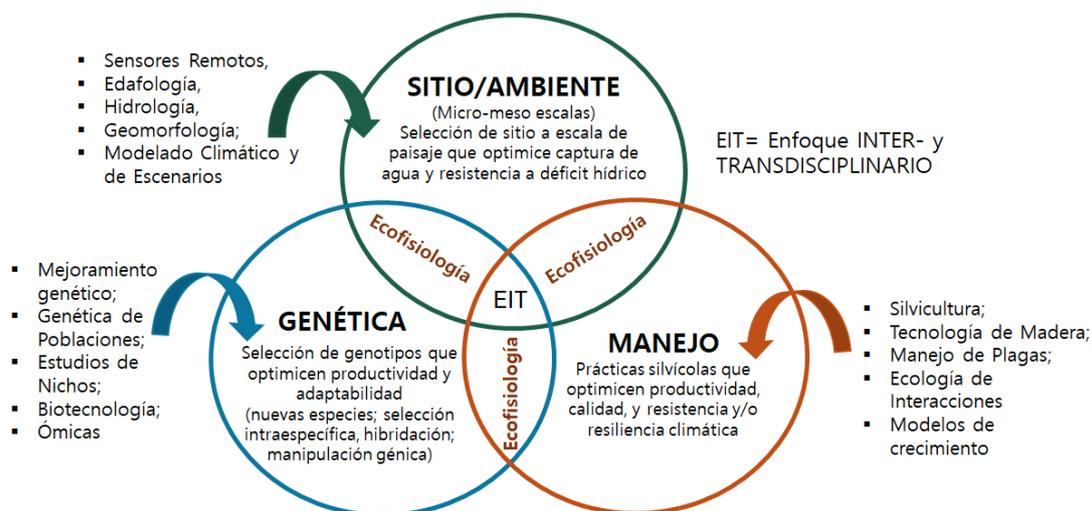


Figura 2. Enfoque integral para poder llegar a una Silvicultura Climáticamente Inteligente: debe contemplar las características de sitio y microsítio (en escenarios climáticos presentes y futuros); la variabilidad genética actual a nivel específico e intraespecífico, y la que puede ser seleccionada y diseñada mediante hibridaciones u otras herramientas biotecnológicas; y el manejo adaptativo que incremente la resistencia y resiliencia climática y ante estreses bióticos. Para cada objetivo, hay aportes disciplinarios diversos. En la intersección de cada par de componentes está la Ecofisiología, como disciplina que estudia a las plantas en interacción con el ambiente. En la intersección de los tres



componentes se encuentra el trabajo inter- y transdisciplinario, capaz de aportar soluciones a problemáticas complejas. Este enfoque debería aplicarse para la generación de conocimiento y para la gestión forestal (aunque en este último caso, otras consideraciones socio-económicas entran en juego).

3. ALGUNOS EJEMPLOS RELEVANTES PARA LA MESOPOTAMIA ARGENTINA

En este apartado, analizaremos brevemente ejemplos para cada uno de los tres componentes explicitados en la Fig. 2 desarrollados en taxones de interés para la Mesopotamia argentina. Estos ejemplos se han seleccionado debido al enfoque en la adaptabilidad a estrés abiótico, aspecto que se propone como central para garantizar una producción sostenible y que mitigue el CC (Fig. 1).

3.1. Importancia del sitio de plantación en la determinación de los patrones de mortalidad de pinos en la Pcia. de Corrientes

Como consecuencia de un fenómeno climático de sequía prolongada por 3 años, coincidente con años Niña a nivel de temperaturas del océano Pacífico, y sumado a una ola de calor sin precedentes (i.e. una situación de "hotter-drought"), en el año 2022 se produjo un fenómeno de magnitud regional en la Pcia. de Corrientes, que afectó -al menos hasta ese año- 25.000 ha. de plantaciones comerciales adultas, con aprox. 10.500 ha. con mortalidad de más del 90% de los individuos (SAGPYA y otros, 2022). Este evento, de gran impacto económico, puso en alerta al sector forestal regional y se movilizaron vinculaciones entre distintas instituciones y actores. Aquí nos centraremos en los aspectos ambientales que describen el fenómeno, tratando de comprender cómo fue la dinámica temporal del evento, y qué especies y condiciones de sitio fueron las más afectadas para tratar de brindar recomendaciones para aumentar la adaptabilidad de futuras plantaciones. Los resultados detallados que se resumen aquí pueden ser consultados en Gatica et al (2023) y Gatica et al (2024).

El seguimiento, mediante análisis con sensores remotos -previamente validados a campo- del fenómeno durante un año completo desde que comenzaron a visualizarse signos de mortalidad de árboles, permitió concluir que la especie más afectada a nivel regional y local fue *Pinus taeda*, y que la mortalidad tuvo una dinámica temporal y una máxima magnitud final (tomando como fecha final un año luego del inicio del evento, aunque luego el fenómeno continuó) fuertemente asociadas a las condiciones de sitio donde las plantaciones estaban instaladas. La alta mortalidad en *P. taeda* en particular, si bien no puede separarse de las condiciones de sitio donde se implanta la especie, podría entenderse a la luz de la alta vulnerabilidad a la cavitación del xilema observada en progenies cultivadas en la región mesopotámica (Bulfe et al, 2016), que sugieren que la selección por productividad en esta especie ha ido en detrimento de su tolerancia a estrés. Considerando la dinámica de mortalidad durante el evento de sequía extrema, se observaron diferencias estadísticas en los parámetros que describen esta dinámica (fecha de inicio de fase exponencial, tasa inicial de mortalidad y máxima magnitud) entre las distintas calidades de sitio, descritas *a priori* por la compañía forestal donde se realizó el relevamiento (Fig. 3). La mayor mortalidad, en fecha anticipada de inicio, tasa inicial y magnitud final, se observó en los llamados sitios Rc, que son áreas de relativamente baja productividad forestal (en términos comparativos a la máxima productividad potencial de la zona). Estos sitios se caracterizan por su posición relativamente alta en el paisaje y sus suelos someros (aprox. 50 cm) desarrollados sobre un impedimento rocoso. La máxima exploración de raíces en el mismo coincide con este impedimento. La menor mortalidad, que fue casi nula, también coincidió con sitios de baja productividad forestal (sitios P15 y Ba), pero en este caso asociada a una posición baja en el paisaje, coincidente con áreas de inundación prolongada en periodos húmedos. Resulta especialmente interesante discernir las características de sitio que determinaron niveles intermedios de mortalidad final y con una dinámica temporal variable entre ellos (Fig. 3). Los sitios P21, donde se observó la menor mortalidad dentro de los valores intermedios, son zonas -al igual que los P18 y P25- de moderada a buena productividad para pinos, caracterizados por poseer suelos profundos, con un horizonte B textural a profundidad variable que puede ser de más de 100 cm. En un sitio P21 relevado a campo en agosto de 2022, se observó que las raíces de los árboles llegaban a gran profundidad, por debajo del metro, y presentaban en ese momento signos de baja a nula afectación. En contraposición, los sitios E35 son sitios de alta productividad (adecuados incluso para eucaliptos), que también poseen una profundidad de suelo

similar, aunque se ubican más arriba en el paisaje. La diferencia en estos suelos, donde se observó una alta proporción de árboles muertos, es la presencia de signos de anoxia a profundidades variables, indicando la presencia -en periodos climáticos normales- de una napa superficial. En acuerdo con estas observaciones, el relevamiento de la profundidad de raíces de los pinos indicó que allí desarrollan sistemas radicales someros, de 30 cm aprox., por más que no haya un impedimento físico como en el caso de los sitios Rc.

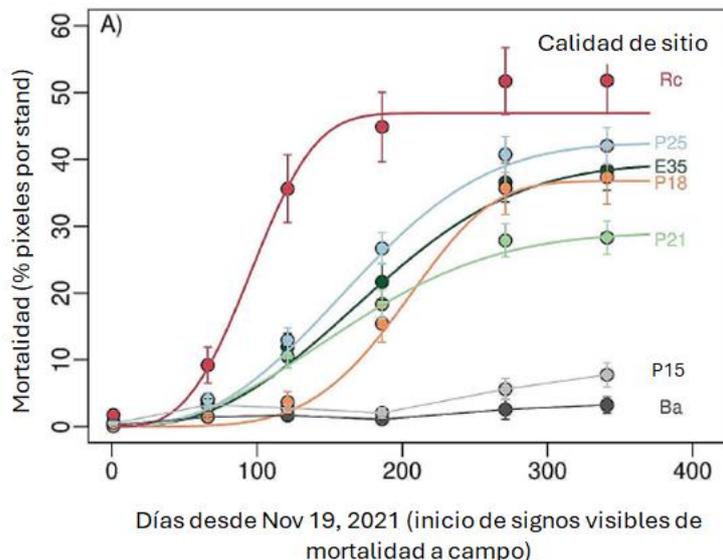


Figura 3: Figura modificada a partir de la Fig. 2 de Gatica et al (2024). Se muestra la dinámica temporal de afectación de plantaciones dentro de un total de 20.000 hectáreas forestadas, tomando como variable de respuesta el porcentaje de píxeles (mediante procesamiento de imágenes de Sentinel-2) que mostraban una mortalidad de árboles mayor a 90%. El análisis estadístico de los datos (con modelos mixtos que consideraron especie, edad, tamaño de rodales, calidad de sitio, tiempo, entre otros) mostraron que la dinámica temporal de la mortalidad se asoció fuertemente, y de manera no lineal, a la calidad de sitio, definida previamente por la compañía forestal en términos de productividad. Ver el texto para la descripción de las distintas calidades de sitio.

Los análisis de anillos de crecimiento de los 10 años previos al evento de mortalidad realizados en individuos vivos y muertos de *P. taeda* de sectores Rc, P21 y E35 muestran que, si bien existe una tendencia a que los árboles que sobrevivieron dentro y entre sectores, presenten un mayor crecimiento medio, las diferencias estadísticas no fueron significativas. Tampoco mostraron diferencias significativas en la estructura de su madera, analizada a través del porcentaje de leño temprano y tardío de los anillos. Esto sugiere que en los años previos al periodo considerado, las diferencias ambientales -resultantes en crecimiento diamétrico de los árboles- en los distintos sectores no permitían anticipar una mortalidad diferencial. Sin embargo, la diferenciación de largo plazo a nivel de calidad de sitio sí permite predecir un comportamiento diferente frente a un fenómeno climático de “hotter-drought”. En este sentido, la mayor y la menor mortalidad se asociaron a sitios de baja productividad en términos forestales, ambos sitios con estrés hídrico, pero en un caso por defecto (por suelos someros) y en el otro por exceso de agua en periodos climáticos normales para la región. Considerando las zonas con mortalidad intermedia (al menos en el primer año), los sitios de alta productividad inducida por el aporte de agua de una napa superficial que inhibe el desarrollo de raíces en profundidad, fueron los más afectados. En contraste, los sectores donde los árboles pudieron explorar con sus raíces horizontes profundos de suelo, debido a que en condiciones normales la napa se encuentra a mayor profundidad, pudieron resistir mejor las condiciones extraordinarias de sequía. En este sentido, podemos concluir que una medida que aporta a la adaptabilidad climática -y a la vez es consistente con una productividad forestal adecuada y ambientalmente sustentable en términos de preservar zonas bajas de humedales- sería la de priorizar la plantación en zonas donde los árboles pueden desarrollar un sistema radical extenso y profundo. Por supuesto, las otras zonas son factibles de seguir siendo forestadas, pero se

deberá considerar que poseen un riesgo aumentado de mortalidad, de moderada a alta magnitud de acuerdo a la permanencia de agua en el sistema y a los mecanismos de aclimatación a déficit hídrico que las plantas tienen de acuerdo a las condiciones de crecimiento previas al evento.

3.2. Variación inter- e intraespecífica en caracteres de resistencia a la sequía en eucaliptos

La exploración de la variación entre especies y dentro de ellas, entre familias y genotipos, de caracteres de resistencia a la sequía en *Eucalyptus* spp tiene una vasta trayectoria, debido a la importancia comercial del género en diversos países. Históricamente, se ha explorado extensamente el rol de la capacidad de ajuste osmótico como importante mecanismo de resistencia a estrés hídrico y por heladas en estas especies. Sin embargo, a diferencia de los muchos estudios en especies coníferas o en angiospermas de otros géneros, los estudios de la anatomía funcional de la madera de estas especies son mucho más reducidos. Los eucaliptos tienen una anatomía de xilema compleja, formada por diversos tipos celulares. La relación particular entre estos tipos celulares y la ultraestructura de los mismos desafían varios de los conceptos y teorías fuertemente arraigados en la hidráulica de las especies leñosas, al menos al considerar especies de eucaliptos de alta productividad y/o con selección genética. En este sentido, estudios de eucaliptos en bosques nativos en Australia, en especies que no son cultivadas comercialmente, parecen estar en línea con teorías generales que indican un compromiso entre seguridad y eficiencia del sistema conductivo (dado por una mayor vulnerabilidad a cavitación (VC) en especies de vasos más grandes) y una relación negativa entre densidad de madera y VC (i.e. mayor densidad asociada a menor VC) (Peters et al, 2021). Sin embargo, estudios llevados a cabo en Argentina (revisados en Fernández et al, 2019) muestran que en los genotipos introducidos y seleccionados en este país, existe una relación inversa entre tamaño de los elementos de conducción del xilema (vasos) y resistencia a la cavitación, siendo las especies de vasos más grandes en promedio, y por ende, con mayor conductividad hidráulica, las de menor VC (Fig. 4). Asimismo, se describió que una mayor amplitud de tamaño de vasos se asocia con una mayor seguridad hidráulica, y que una mayor cantidad de traqueidas vasicéntricas y fibrotraqueidas rodeando a los vasos solitarios resultan en un aumento tanto de la eficiencia de conducción de agua como de la seguridad del sistema conductivo (Barotto et al, 2016).

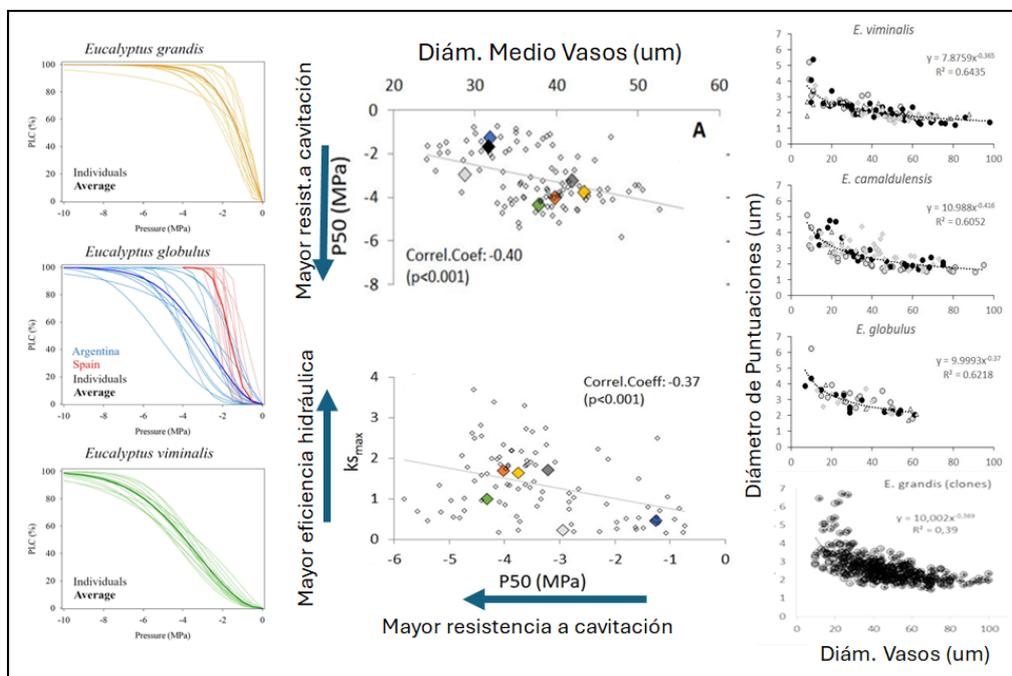


Figura 4: A la izquierda se muestran curvas de vulnerabilidad a la cavitación en tres especies de *Eucalyptus*, que demuestran la variabilidad entre especies y dentro de ellas, especialmente en *E. globulus*. En el centro de la figura, panel superior, se observa la relación entre el tamaño medio de los vasos de las ramas de distintas especies (cada color es el promedio de una especie, los puntos



individuales son individuos) y la vulnerabilidad a la cavitación (estimada por el parámetro P50); y en el panel de abajo, la relación entre la conductividad hidráulica máxima y la vulnerabilidad a la cavitación. A la derecha de la figura se muestran los valores del tamaño de las puntuaciones intervasculares -por donde puede penetrar el aire que cavita los vasos- y el diámetro de los vasos en 4 especies. Se aprecia que los vasos más pequeños del xilema son los que poseen puntuaciones más grandes, pudiendo por ello ser más vulnerables a la cavitación.

Ahora bien, ¿cómo es posible sortear el compromiso entre eficiencia y seguridad hidráulica? Analizando el tamaño de las puntuaciones que conectan los vasos entre sí y con otras células, se encontró que los vasos más pequeños del xilema poseen puntuaciones de mayor diámetro que los vasos más grandes (Fig. 4), posiblemente aumentando su eficiencia para el pasaje de agua, pero a la vez, la probabilidad de que penetre aire y cavite el conducto. En acuerdo con esta observación anatómica en el xilema de *E. grandis*, *E. globulus*, *E. viminalis* y *E. camaldulensis*, un experimento en esta última especie demostró que los vasos más pequeños del xilema son efectivamente los primeros en cavitar durante un periodo de sequía (i.e. poseen una mayor probabilidad de cavitación que la esperada por azar en función de su proporción en el xilema) (Barigah et al, 2021). Por otro lado, también de manera contraria a lo descrito usualmente, se encontró que las maderas más densas eran las menos resistentes a la cavitación en estas especies de eucaliptos. Sin embargo, las especies con mayor densidad de madera a nivel de ramas fueron aquellas con menor densidad a nivel de fustes, por lo que se observó una correlación significativa mostrando que las especies con menor densidad de madera de fustes (ej. clones de alta productividad de *E. grandis*) fueron las más vulnerables a la cavitación en sus ramas.

Así, integrando este conocimiento con el de comportamiento fisiológico de las especies a nivel foliar, se concluyó que los eucaliptos estudiados poseen una gradación de comportamientos que va de especies con características evitadoras de la sequía, como *E. grandis*, hasta especies con caracteres de tolerancia, como *E. camaldulensis*. La primera posee alta vulnerabilidad a la cavitación en sus ramas terminales, que son de alta densidad y baja conductividad, pero una baja densidad de madera y alta conductancia potencial en sus fustes. Esto hace que sea capaz de movilizar agua eficientemente cuando el recurso no es limitante, a la vez que la alta vulnerabilidad a la cavitación de sus ramas le confiere susceptibilidad ante la sequía, aunque a la vez, le permitiría actuar como fusibles para perder superficie transpiratoria y proteger el fuste principal ante momentos de déficit hídrico, un mecanismo que contribuye a la resiliencia. En consonancia con su alta VC, esta especie posee alta sensibilidad estomática, comparativamente con otros *Eucalyptus* puros y con híbridos interespecíficos con eucaliptos colorados (*E. camaldulensis* y *E. tereticornis*), y esta sensibilidad incluso aumenta en condiciones de estrés. Cabe destacarse que se encontró variación en vulnerabilidad a la cavitación de distintos clones de *E. grandis*, pero siempre dentro de un rango acotado propio de una especie vulnerable y evitadora de la desecación. En contraste, *E. camaldulensis* posee una estrategia tolerante, caracterizada por una alta resistencia a la cavitación y un marcado anisohidrismo producto de mantener sus estomas abiertos -y por ende, la transpiración y fijación de C- a medida que el suelo se va desecando. Estas mismas características se observaron en híbridos entre *E. grandis* y *E. camaldulensis* (clones GC), que presentaron un mejor desempeño en crecimiento ante estrés hídrico que clones de *E. grandis* puros (ej. Gándara et al, en revisión). Resulta interesante ver que si bien el cruzamiento de *E. grandis* con *E. tereticornis* presenta algunas similitudes fisiológicas con los clones GC en respuesta a la sequía, su desempeño en crecimiento no sería igualmente óptimo (Gándara et al, en revisión). En este sentido, se está trabajando fuertemente en distintos grupos de investigación en la exploración del desempeño de clones híbridos como estrategia para aumentar la resistencia al estrés abiótico en eucaliptos.

Por otro lado, la exploración de la variabilidad intraespecífica en otras especies de *Eucalyptus*, apropiadas para climas más templados y fríos que los de la Mesopotamia argentina, muestra que en el caso de *E. globulus* existe una importante variabilidad en caracteres hidráulicos, que van de la mano con la anatomía y densidad de su madera (Barotto et al, 2018). En primer lugar, puede decirse que existe una relativamente alta variación entre progenies introducidas en Argentina, que en conjunto poseen una relativamente alta resistencia a la cavitación, de la mano de valores altos de densidad de



madera de fustes. Estas progenies se diferencian grandemente de clones cultivados en Galicia, España, los que poseen características de funcionalidad y anatomía de la madera más cercanos a los materiales de *E. grandis* en Argentina (Fernández et al, 2019). Esto sugiere que dentro de esta especie en particular, existe una amplia diversidad genética para explorar en cuanto a resistencia a estrés hídrico (Fig. 4), aunque los potenciales compromisos con la productividad están aún en análisis. Por el contrario, si bien en *E. viminalis*, especie de gran resistencia a heladas y sequía, se observó variabilidad en densidad de la madera (Alarcón et al, 2021), no se encontró variación en la vulnerabilidad a la cavitación de distintas progenies.

En conjunto estos resultados sugieren que existen ciertas tendencias claras -y a veces contrarias a las observadas en otros géneros- entre anatomía, densidad de madera y funcionalidad hidráulica a nivel interespecífico, pero las relaciones a nivel intraespecífico dependen de la especie. Asimismo, la hibridación de especies con distintas estrategias de uso de agua y resistencia a la sequía es un mecanismo promisorio para aumentar la adaptabilidad del género sin perder productividad, aunque las respuestas de las distintas combinaciones deben estudiarse detalladamente.

3.3. Efecto de la intensidad y frecuencia de raleo en la sensibilidad al clima en *E. grandis*.

Tal vez el mayor campo para la exploración en torno a la adaptabilidad resida en el manejo forestal. Existen relativamente pocos estudios al respecto, y los mismos muestran resultados contradictorios entre especies y una alta dependencia de las condiciones de sitio (Castagneri et al, 2022). En dicho meta-análisis se observó que en la mayoría de los estudios (49%) se encontró una mayor sensibilidad al déficit hídrico en situaciones de mayor competencia intraespecífica de los árboles. Sin embargo, hubo un 15% de casos en los que la relación fue significativamente inversa (i.e. mayor sensibilidad a menor competencia), y en los casos restantes, no hubo un efecto de la competencia sobre la sensibilidad al clima. Por lo tanto, no es posible recomendar el raleo como una práctica tendiente a aumentar la adaptabilidad de los árboles sin analizar la respuesta en la especie de interés y bajo las condiciones particulares de sitio y clima.

Un ejemplo de análisis de este tipo se realizó en plantaciones de *E. grandis* desarrolladas en tres sitios de las provincias de Corrientes y Entre Ríos, Argentina. Los detalles del estudio pueden encontrarse en Giana et al (2023). Sobre ensayos de raleo de distinta intensidad y momento de aplicación, se evaluó la sensibilidad del crecimiento a la disponibilidad hídrica de los árboles individuales, y la respuesta a un evento de sequía extrema. La sensibilidad, estimada como la pendiente de la relación entre crecimiento y balance hídrico, se analizó en promedio para rodales de distinta densidad post-raleo, como en función de la competencia intraespecífica de cada individuo en particular de manera de poder explorar mejor las causas de las respuestas a nivel individual, y extrapolar los resultados a situaciones de competencia promedio no evaluadas. A nivel de sitio y promediando todos los tratamientos, no se observó una relación entre la productividad media del sitio y la sensibilidad al clima de los árboles, es decir, los dos sitios con mayor productividad media fueron los de menor y mayor sensibilidad. Por otro lado, se observó que -como era de esperarse- el crecimiento medio de los árboles fue mayor cuanto menor fue la densidad de plantación (panel superior Fig. 5) y el grado de competencia del individuo (más allá de la densidad del rodal, datos no mostrados), mostrando relaciones lineales. Más aún, la sensibilidad al clima describió un patrón opuesto (panel inferior Fig. 5), presentando los árboles de mayor crecimiento la menor sensibilidad al clima. Interesantemente, el doble raleo -es decir, aquel que llevó el rodal a una misma densidad final en dos etapas- disminuyó la sensibilidad al clima comparativamente con la misma densidad alcanzada en una única operación, y más aún, aumentó marcadamente la resistencia y la resiliencia del crecimiento de los árboles frente a un evento de sequía extrema ocurrido en el año 2008 en la región (Figura 6). La mortalidad de los individuos en general no se asoció con el tratamiento de raleo, aunque sí se observó una menor mortalidad en el tratamiento de mayor intensidad alcanzada con doble raleo en uno de los sitios (Giana et al, 2023).

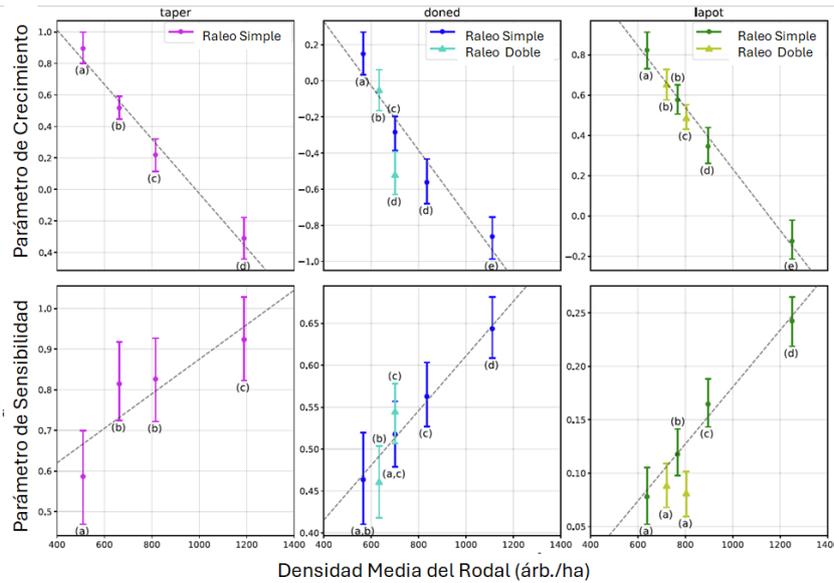


Figura 5. Modificada a partir de la Fig. 4 de Giana et al (2023). En el panel superior se muestra un parámetro del análisis Bayesiano que se relaciona directamente con el crecimiento medio de los árboles individuales. En el panel inferior, el parámetro que describe la sensibilidad media al balance hídrico. Cada punto es el promedio con su desvío estándar de todos los individuos creciendo en rodales con 500 a 1200 individuos. De izquierda a derecha se muestran los tres sitios de estudio. En dos de los sitios, las densidades finales se alcanzaron en uno solo o mediante dos raleos sucesivos. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.

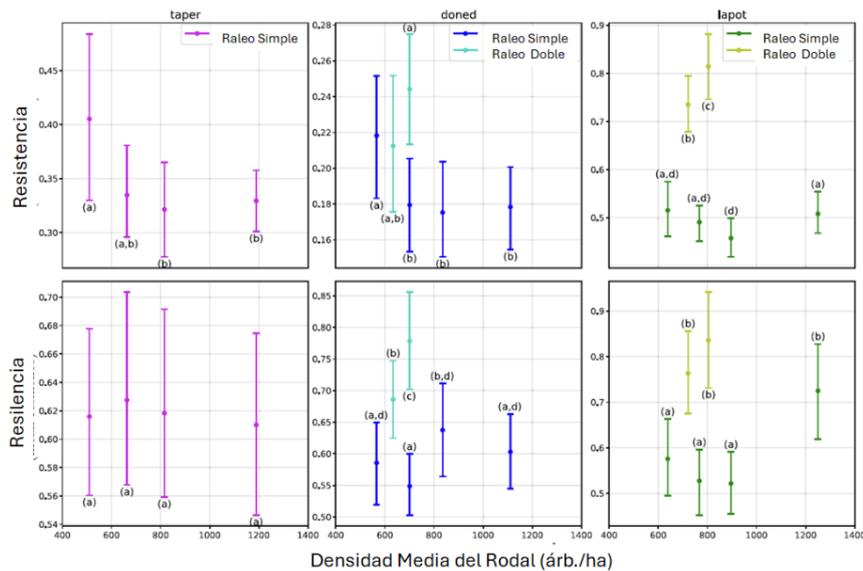


Figura 6. Modificada a partir de la Fig. 6 de Giana et al (2023). En el panel superior se muestra un parámetro del análisis Bayesiano que se relaciona directamente con la Resistencia ante un evento climático extremo (crec. ese año/ crec. en años anteriores). En el panel inferior, el parámetro que describe la Resiliencia (crec. post evento / crec. antes del evento). Se presentan los valores promedios y sus desvíos estándar de todos los árboles en función del tratamiento de intensidad y momento de raleo. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.

Estos resultados sugieren que en el caso de *E. grandis*, la disminución de la competencia aumenta la adaptabilidad de los sistemas al aumentar tanto el crecimiento individual como la resistencia al déficit hídrico moderado (i.e. baja la sensibilidad al balance hídrico) y severo, especialmente cuando se lo practica de manera gradual (en dos etapas en lugar de en un solo raleo inicial). Se desconocen aun los



mecanismos morfo-fisiológicos por los cuales se observan estas respuestas diferenciales entre el raleo simple y doble.

4. CONSIDERACIONES FINALES

En los apartados anteriores se planteó como estrategia para abordar la problemática de los efectos del cambio climático sobre la producción forestal el desarrollo de una “nueva” Silvicultura, fuertemente anclada en la adaptabilidad. Asimismo, se planteó la necesidad de una integración de miradas y saberes tanto para la generación de nuevo conocimiento como para la aplicación del mismo en terreno. Se mostraron ejemplos de avances en el conocimiento en especies y situaciones de ambiente y manejo de interés para la región mesopotámica argentina, principal región forestal de bosques cultivados a nivel nacional. Ahora bien, cada una de las piezas mostradas corresponde a un rompecabezas más grande, en el cual son muchas más las piezas faltantes que las existentes. Cabe preguntarnos si lograremos trabajar de manera mancomunada entre disciplinas, grupos de trabajo, instituciones, actores y subsectores del sector forestal para llegar a buen puerto. En otras palabras, si seremos capaces de enfrentar los desafíos de nuestro tiempo con una visión de conjunto, que, respetando y celebrando la diversidad de saberes y miradas, permita el desarrollo del sector y de su gente en armonía con la Naturaleza.

5. LITERATURA CITADA

- ALARCÓN, P.; FERNÁNDEZ, M.E.; OBERSCHELP, G.P.J.; PATHAUER, P.; MARTÍNEZ-MEIER, A. 2021. Sources of phenotypic variation of wood density and relationships with mean growth in two Eucalyptus species in Argentina. *Forest Systems* 30(3), e013. <https://doi.org/10.5424/fs/2021303-17208>.
- ALLEN, C.D.; MACALADY, A.K.; CHENCHOUNI, H.; BACHELET, D.; MCDOWELL, N.; VENNETIER, M.; KITZBERGER, T.; RIGLING, A.; BRESHEARS, D.D.; HOGG, E.H.(T.); GONZALEZ, P.; FENSHAM, R.; ZHANG, Z.; CASTRO, J.; DEMIDOVA, N.; LIM, J.-H.; ALLARD, G.; RUNNING, S.W.; SEMERCI, A.; COBB, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259 (4): 660-684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001.
- BARIGAH, T.S.; GYENGE, J.; BARRETO, F.M.; ROZENBERG, P.; FERNÁNDEZ, M.E. 2021. Narrow vessels cavitate first during a simulated drought in Eucalyptus camaldulensis. *Physiologia Plantarum*: 1-10, doi.org/10.1111/ppl.13556.
- BAROTTO, A.J.; FERNÁNDEZ, M.E.; GYENGE, J.E.; MARTÍNEZ MEIER, A.; MEYRA, A.; MONTEOLIVA, S. 2016. First insights into the functional role of vasicentric tracheids and parenchyma in Eucalyptus species with solitary vessels: Do they contribute to xylem efficiency or safety? *Tree Physiology* 36 (12): 1485 – 1497.
- BAROTTO, A.J.; MONTEOLIVA, S.; GYENGE, J.; MARTÍNEZ MEIER, A.; FERNÁNDEZ, M.E. 2018. Functional relationships between wood structure and vulnerability to xylem cavitation in races of Eucalyptus globulus differing in wood density. *Tree Physiol.* 38: 243-251. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx138>.
- BULFE, N.; FERNÁNDEZ, M.E. 2016. Morpho-physiological response to drought of progenies of Pinus taeda L. contrasting in mean growth rate, *New Forests* 47: 431-451. DOI: 10.1007/s11056-016-9524-x.
- CARNEGIE, A.J.; KATHURIA, A.; NAGEL, M. et al. 2022. Current and future risks of drought-induced mortality in Pinus radiata plantations in New South Wales, Australia. *Aust for* 85:161–177. <https://doi.org/10.1080/00049158.2022.2145722>
- CASTAGNERI, D.; VACCHIANO, G.; HACKET-PAIN, A.; DEROSE, R.; KLEIN, T.; BOTTERO, A. 2022. Meta-analysis reveals different competition effects on tree growth resistance and resilience to drought. *Ecosystems* 25: 30–43.
- FAO. 2019. Climate-smart agriculture and the Sustainable Development Goals. Mapping interlinkages, synergies and trade-offs and guidelines for integrated implementation. Rome. 144 pp. www.fao.org/3/ca6043en/CA6043EN.pdf.
- FERNÁNDEZ, M.E.; BAROTTO, A.J.; MARTÍNEZ MEIER, A.; GYENGE, J.E.; TESÓN, N.; QUIÑONES MARTORELLO, A.S.; MERLO, E.; DALLA SALDA, G.; ROZENBERG, P.; MONTEOLIVA, S. 2019. New insights into wood anatomy and function relationships: how Eucalyptus challenges what we already know. *Forest Ecology and Management* 454:117638. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117638>.



- GATICA, G.; GYENGE, J.; FERNÁNDEZ, M.E. 2023. Detección De Niveles De mortalidad en plantaciones forestales del NE argentino usando una combinación de índices espectrales satelitales. In: Peri et al (eds) Actas Del VIII Congreso Forestal Latinoamericano Y V Congreso Forestal Argentino. CONFLAT, Mendoza, pp 27–30
- GATICA, M.G.; GYENGE, J.; BULFE, N.M.K.; PAHR, N.; DALLA TEA, F.; FERNÁNDEZ, M.E. 2024. Unprecedented mortality induced by extreme hot-drought in mature planted *Pinus* spp stands is locally modulated by soil characteristics. *New Forests*, <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10037-x>
- GIANA, F.E.; MARTÍNEZ-MEIER, A.; MASTRANDREA, C.A.; GARCÍA, M.A.; CANIZA, F.J.; MONTEOLIVA, S.E.; GYENGE, J.E.; FERNÁNDEZ, M.E. 2023. Intensity and number of thinning operations affect the response of *Eucalyptus grandis* to water availability and extreme drought events. *Forest Ecology Management* 529:120635, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120635>.
- GLEASON, S.M.; WESTOBY, M.; JANSEN, S.; CHOAT, B.; HACKE, U.G. et al. 2016. Weak trade-off between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species. *New Phytol.* 209, 123–136.
- HAMMOND, W.M.; WILLIAMS, A.P.; ABATZOGLOU, J.T. et al. 2022. Global field observations of tree die-off reveal hotter-drought fingerprint for Earth's forests. *Nat Commun* 13:1761. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29289-2>
- Hartmann, H. et al. 2018 Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality. *N. Phytol.* 218: 15–28.
- IPCC, 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- GÁNDARA, J.; NIÓN, M.; GONZÁLEZ-TÁLICE, J.; ROSS, S.; VILLAR, J.; FERNÁNDEZ, M.E. 2014. Similar but unique: variable relationships between physiological response to drought and growth across pure and interspecific hybrids of *Eucalyptus*. Trabajo en revisión en una revista científica; expuesto en el congreso IUFRO, Uruguay.
- KANNENBERG, S.A.; DRISCOLL, A.W.; MALESKY, D.; ANDEREGG, W.R.L. 2021. Rapid and surprising dieback of Utah juniper in the southwestern USA due to acute drought stress. *For Ecol Manag* 480:118639. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118639>.
- PASCUAL, A.; TUPINAMBÁ-SIMÕES, F.; GUERRA-HERNÁNDEZ, J.; BRAVO, F. 2022. High-resolution planet satellite imagery and multi-temporal surveys to predict risk of tree mortality in tropical eucalypt forestry. *J Environ Manage* 310:114804. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114804>
- PETERS, J.M.R.; LÓPEZ, R.; NOLF, M.; HUTLEY, L.B.; WARDLAW, T.; CERNUSAK, L.A.; CHOAT, B. 2021. Living on the edge: A continental-scale assessment of forest vulnerability to drought. *Glob Change Biol.* 27:3620–3641, DOI: 10.1111/gcb.15641.
- PREISLER, Y.; TATARINOV, F.; GRÜNZWEIG, J. M.; YAKIR, D. 2020. Seeking the “point of no return” in the sequence of events leading to mortality of mature trees. *Plant, Cell & Environment.* <https://doi.org/10.1111/pce.13942>
- SAGyP y otros. 2022. Análisis climático y productivo en relación a la mortalidad de *Pinus taeda* en la provincia de corrientes. Informe Técnico elaborado por miembros de la Secretaría De Agricultura, Ganadería Y Pesca (Ministerio De Economía De Argentina), INTA-CONICET y Secretaría de Desarrollo Foresto-industria de la provincia de Corrientes, Corrientes, Argentina, 51 pp.



DE LA HUELLA A LA OPORTUNIDAD, ESTRATEGIAS ECOLÓGICAS PARA EL ÉXITO COMERCIAL

Mariano MINAGLIA¹

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el mundo ha experimentado un cambio profundo en la percepción acerca del medio ambiente y las repercusiones del desarrollo industrial y urbano. El crecimiento de la población y el uso intensivo de recursos naturales han generado un interés creciente y una preocupación palpable por las huellas ambientales que nuestras actividades diarias dejan en el entorno. Desde el cambio climático hasta la escasez de recursos, se ha vuelto una necesidad urgente para adoptar un enfoque más sostenible en la economía.

En este contexto, estrategias y acuerdos internacionales, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), fomentan la conciencia sobre la necesidad de mejorar nuestras formas de producción y consumo, asegurando así la conservación de los recursos naturales, el desarrollo económico y el bienestar social.

Para tener un control efectivo sobre los procesos de desarrollo y detectar oportunidades de mejora, es fundamental contar con diagnósticos integrales que ofrezcan información completa y útil para la toma de decisiones. En este sentido, las mediciones de huellas ambientales emergen como herramientas clave para estimar los impactos generados por la producción de bienes y servicios, convirtiéndose en estrategias de desarrollo de gran relevancia.

Las huellas ambientales miden el impacto de nuestras acciones sobre el entorno y se desglosan en varias categorías, siendo las más destacadas la huella de carbono, la huella de agua, entre otras. Cada una de estas métricas proporciona una comprensión clara de cómo nuestras actividades afectan el medio ambiente y nos ayuda a identificar áreas de mejora.

El objetivo de esta presentación es examinar la relación entre las huellas ambientales y las oportunidades de negocio que surgen en el marco de la sostenibilidad. A medida que empresas y consumidores se vuelven más conscientes de su impacto ambiental, emergen nuevas oportunidades para innovar, reducir costos y generar valor. Este análisis abordará cómo las organizaciones pueden transformar la imperiosa necesidad de reducir su huella ambiental en una ventaja competitiva.

A través de un análisis exhaustivo de las diferentes huellas ambientales, se identificarán las oportunidades comerciales que pueden surgir al enfrentar estos desafíos, así como ejemplos de empresas que han logrado implementar prácticas sostenibles con éxito. En última instancia, se busca demostrar que la sostenibilidad no solo es un imperativo ético, sino también una estrategia empresarial viable y lucrativa y una potente herramienta de comunicación y marketing.

2. DESARROLLO

¿Qué es el cálculo de la huella ambiental y que relación guarda con el Análisis de ciclo de vida?

El cálculo de la huella ambiental es una herramienta de diagnóstico que implica la cuantificación de los impactos ambientales generados por un producto, servicio o actividad a lo largo de su ciclo de vida. Este cálculo puede incluir diferentes tipos de huellas, como la huella de carbono, huella de agua, acidificación, eutrofización, etc. Los pasos generales para llevar a cabo este cálculo son:

¹ Mg. Lic. INTI – Centro Oriental. Entre Ríos



- **Definición del Alcance:** Establecer qué se va a medir y qué etapas del ciclo de vida del producto se incluirán (desde la extracción de materias primas hasta la disposición final)
- **Recolección de Datos:** Obtener información sobre los insumos utilizados, las emisiones generadas y los recursos consumidos en cada etapa del ciclo de vida.
- **Cálculo de Impactos:** Utilizar fórmulas y factores de conversión para traducir los datos recolectados en un impacto ambiental cuantificable. Esto puede incluir la conversión de emisiones a toneladas de CO₂, el consumo de agua en litros, etc.
- **Análisis e Interpretación:** Evaluar los resultados obtenidos y determinar las áreas donde se puede reducir el impacto ambiental.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y el cálculo de la huella ambiental están estrechamente relacionados, ya que el ACV es una metodología que brinda el enfoque marco que se utiliza para calcular diferentes formas de huellas ambientales. Aquí está la relación más detallada:

- **Fases del ACV:** El cálculo de la huella ambiental generalmente se realiza como parte del inventario del ciclo de vida, que es una de las fases del ACV. Durante esta fase, se recopilan datos que son fundamentales para calcular las huellas.
- **Enfoque Holístico:** Mientras que el cálculo de la huella ambiental puede centrarse en un aspecto específico (como la huella de carbono o hídrica), el ACV considera todos los impactos ambientales de un producto a lo largo de su ciclo de vida, proporcionando una visión más completa.
- **Identificación de Oportunidades:** Ambos enfoques permiten a las empresas y organizaciones identificar áreas clave donde se pueden realizar mejoras para reducir el impacto ambiental, pero el ACV ofrece un marco más estructurado y detallado para la evaluación y comparación.
- **Toma de Decisiones Informadas:** El cálculo de la huella ambiental proporciona datos específicos que pueden ser utilizados dentro del marco de un ACV para guiar decisiones sobre diseño, producción, uso y disposición de productos.

Marco metodológico aplicado

Existen diversas herramientas y metodologías para realizar el cálculo de la huella ambiental, entre las más utilizadas se encuentran:

- **Análisis del Ciclo de Vida (ACV):** Es la metodología más completa y rigurosa para evaluar el impacto ambiental de un producto o servicio, bajo las normas ISO 14040/14044.
- **Huella de Carbono:** Se enfoca específicamente en las emisiones de gases de efecto invernadero. ISO 14067 Huella de Carbono de producto y ISO 14064 Huella de Carbono Organizacional. GHG Protocol.
- **Huella de Agua:** Evalúa el impacto por consumo directo e indirecto de agua a lo largo del ciclo de vida de un producto o servicio. ISO 14046.
- **Declaraciones Ambiental de productos:** Se enfoca específicamente en la integridad de varios impactos ambientales y los mecanismos de comunicación en los informes de declaración ambiental/ecoetiquetas.
- **Manuales de IPCC:** Se utilizan como guía para el cálculo de emisiones provenientes del uso de combustibles, manejo de suelo, gestione de animales, residuos sólidos y efluentes.

La Huella Ambiental como Estrategia de Negocio, Motor de Innovación y crecimiento Organizacional

Conocer las huellas ambientales de nuestros productos, poder comunicar e implementar estrategias que reduzcan los impactos puede ofrecer múltiples beneficios, entre ellos desbloquear una serie de oportunidades y ventajas competitivas:



- Eficiencia Operativa

Reducir las huellas Ambientales a menudo implica mejorar la eficiencia energética y optimizar los procesos de producción. Esto puede resultar en una reducción de costos operativos, lo que mejora los márgenes de beneficio y permite a la empresa ofrecer precios más competitivos.

La reducción y el reciclaje de residuos pueden generar ahorros económicos e impulsar la aplicación de economía circular.

- Ventajas competitivas

Explicar cómo una baja huella ambiental puede atraer a clientes e inversores.

Existe una demanda creciente de productos y servicios sostenibles en muchos mercados.

Las empresas que innovan en sostenibilidad pueden obtener una ventaja competitiva en el mercado.

Los consumidores cada vez más buscan marcas que compartan sus valores y que tengan un impacto positivo en el medio ambiente.

- Reputación de marca

La imagen corporativa asociada con la sostenibilidad es cada vez más valorada. Las empresas con una huella ambiental baja pueden mejorar su reputación y ser percibidas como líderes en sostenibilidad. Esto puede resultar en una imagen de marca más fuerte y atractiva, lo que, a su vez, puede atraer a inversores y socios comerciales que valoran la sostenibilidad.

- Cumplimiento normativo

La necesidad de adaptarse a las regulaciones ambientales cada vez más exigentes y una obligación a la hora de producción con una mirada de sostenibilidad.

- Innovación

La gestión ambiental puede impulsar el desarrollo de nuevos productos y servicios. Las empresas que adoptan un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad pueden diferenciarse en el mercado.

- Incentivos y Subsidios

Algunas empresas pueden beneficiarse de estímulos fiscales o subsidios por implementar prácticas que reduzcan las emisiones de carbono. Estos incentivos pueden ayudar a disminuir los costos de inversión y aumentar la rentabilidad.

- Atracción y Retención de Talento

Las generaciones más jóvenes (millennials y la generación Z) valoran profundamente las empresas con prácticas sostenibles. Los empleados, especialmente de las generaciones más jóvenes, tienden a preferir trabajar para empresas que tienen un fuerte compromiso con la sostenibilidad. Esto puede facilitar la atracción y retención de talento valioso.

- Cultura organizacional

Un enfoque en la sostenibilidad fomenta una cultura de innovación y compromiso entre los empleados.

Estrategias de sostenibilidad aplicadas en la Industria Forestal

- **Evaluación de la Huella Ambiental**

Realizar un análisis detallado de la huella de carbono, hídrica y de materiales para identificar las áreas de mayor impacto. Con diagnósticos claros se puede generar una hoja de ruta hacia la mejora continua.



- **Manejo forestal sostenible**

Certificación forestal: Adquirir certificaciones que garanticen prácticas forestales responsables.

Rotación de cultivos: Implementar sistemas de rotación de cultivos para evitar la degradación del suelo y la pérdida de nutrientes.

Reforestación: Plantar árboles para compensar la pérdida de bosques y aumentar la captura de carbono.

- **Optimización de procesos**

Reducción de residuos: Minimizar la generación de residuos de madera y promover su reutilización o reciclaje.

Eficiencia energética: Implementar tecnologías y procesos que reduzcan el consumo de energía en las actividades forestales, como la instalación de paneles solares o la optimización de procesos (eficiencia energética)

Transporte sostenible: Optimizar las rutas de transporte y utilizar modos de transporte menos contaminantes.

Minimizar la generación de residuos, promover el reciclaje y el compostaje.

- **Innovación en productos:**

Desarrollo de productos de madera de mayor valor agregado: Promover el uso de la madera en productos duraderos y con bajo impacto ambiental.

Bioenergía: Utilizar los residuos forestales para generar energía renovable.

Adoptar un enfoque de diseño circular y utilizar materiales reciclados y renovables.

- **Colaboración con otras industrias:**

Cadena de suministro sostenible: Trabajar con proveedores y clientes que compartan los mismos valores de sostenibilidad.

Economía circular: Promover la economía circular mediante la reutilización y el reciclaje de productos de madera.

- **Comunicación y Transparencia:** Informar a los stakeholders sobre las acciones de sostenibilidad de la empresa.

3. CONCLUSIONES

Beneficios de una Gestión Forestal Sostenible

- **Mejora de la imagen de marca:** Las empresas forestales que adoptan prácticas sostenibles pueden fortalecer su reputación y atraer a consumidores conscientes.
- **Mayor competitividad:** Las empresas sostenibles pueden acceder a nuevos mercados y obtener ventajas competitivas.
- **Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):** La gestión forestal sostenible contribuye al logro de varios ODS, como la acción por el clima, la vida en los ecosistemas terrestres y la producción y el consumo responsables.
- **Resiliencia:** Los bosques gestionados de forma sostenible son más resilientes a los impactos del cambio climático y a las perturbaciones naturales.



NORMALIZACIÓN EN PRESERVACIÓN DE MADERA

Gonzalo LEGUIZAMÓN – IRAM¹

PRESERVACIÓN DE MADERAS CON AUTOCLAVE: PROCESO DE CELULA LLENA, MERCADO, REGISTRO Y PRODUCTOS

Guillermo MALAVASI – TEFQUIM SA²

RESUMEN

Repaso sobre el proceso de *Normalización* en Argentina, inicio, proceso, participantes, etapas y vinculación con reglamentaciones vigentes. Repaso de los documentos más importantes del sector y los últimos documentos publicados, *IRAM 9516 - Durmientes de quebracho blanco tratados con preservantes cromocuproarsenicales (CCA - Tipo C)* e *IRAM 9517 - Postes de pino para líneas aéreas de energía y telecomunicaciones preservados con CCA*. Requisitos. Próximos trabajos del organismo de estudio de normas.

A continuación se hará un repaso de las características que debe presentar la madera a tratar, como así también del proceso de *preservación industrial con autoclave*, denominado "*Método Bethell*" o de *célula llena*, se explicará porqué es ese el que se debe utilizar para preservar madera con preservante CCA tipo C, , haciendo hincapié en sus distintas etapas, tiempos mínimos de cada una de ellas, valores de presión que deben alcanzar las bombas en cada momento del proceso, los motivos de ello, cuáles son los defectos y riesgos que presenta una madera que no alcanzó la humedad correcta para su tratamiento o que no recibió el tratamiento correcto.

Se hablará también sobre los distintos mercados de la madera preservada, cuáles son los productos que se utilizan actualmente en Argentina, repasaremos la situación del registro de productos ante el SENASA y el futuro de la preservación en nuestro país.

1. Desarrollo

NORMALIZACIÓN EN PRESERVACIÓN DE MADERA:

Desde el año 1935 el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) trabaja en el desarrollo de normas, siendo una organización civil sin fines de lucro, el organismo nacional de Normalización y único representante argentino ante la ISO. Cada país tiene su propio

organismo de normalización. En Argentina, fuimos reconocidos por el Estado para realizar esta tarea. Actualmente, más de 270 organismos técnicos se encuentran activos, en los que participan representantes de la producción, el consumo, la ciencia y la técnica, la educación y el Gobierno.

Como organización proveedora de servicios, concentramos nuestros esfuerzos en facilitar, mejorar y hacer más segura la vida de las personas, agregando valor a organizaciones de todo tipo y tamaño en materia de competitividad, sostenibilidad y acceso a mercados. Para ello, articulamos los intereses de los diferentes actores de la sociedad (consumidor, empresa y estado), diseñando y prestando servicios innovadores que aporten soluciones a sus necesidades.

Las Normas son documentos que surgen del trabajo de un grupo de especialistas que acuerdan las condiciones mínimas que debe tener un producto, servicio o sistema de gestión.

Durante la exposición se verá un repaso sobre el proceso de Normalización en Argentina, inicio, proceso, participantes, etapas y vinculación con reglamentaciones vigentes. Repaso de los documentos más importantes del sector y los últimos documentos publicados, *IRAM 9516 - Durmientes de quebracho blanco tratados con preservantes cromocuproarsenicales (CCA - Tipo C)* e *IRAM 9517 - Postes de pino*

¹ IRAM - Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Contacto: GLEGUIZAMON@iram.org.ar

² Tefquim - contacto: info@tefquim.com.ar



para líneas aéreas de energía y telecomunicaciones preservados con CCA. Requisitos. Próximos trabajos del organismo de estudio de normas.

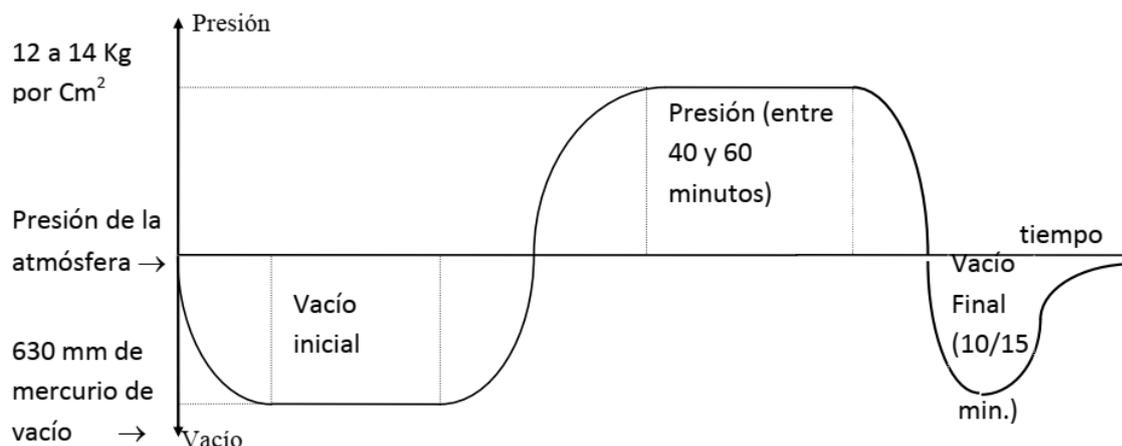
PRESERVACIÓN DE MADERAS CON AUTOCLAVE: PROCESO DE CELULA LLENA, MERCADO, REGISTRO Y PRODUCTOS:

El Método Bethell de impregnación de madera a célula llena es el indicado para impregnar madera con un producto soluble en agua como el CCA. Consiste en retirar el aire de la madera usando una bomba de vacío e inyectar luego la solución preservante dentro de la madera utilizando una bomba de presión.

Tal cual hemos visto existen normas de proceso que garantizan la impregnación regular y pareja del 100 % de la madera impregnable. Si éstas no se respetan rigurosamente, la impregnación puede resultar irregular o insuficiente. Para comenzar a impregnar, la humedad de la madera no debe superar el 30 %; por esto es conveniente disponer de un xilohigrómetro para verificar esta norma.

La madera a tratar debe presentar características que son imprescindibles para que el tratamiento sea llevado a cabo correctamente: debe estar libre de corteza, con una humedad máxima del 30% y es muy importante que los cortes y agujeros se realicen en forma previa al tratamiento.

Ilustraremos el proceso con el siguiente gráfico:



Vacío inicial.

Una vez introducida la madera dentro del autoclave y cerrado el mismo, se pondrá en funcionamiento la bomba de vacío. Durante al menos 30 minutos se debe aplicar a la madera una presión de vacío de 630 mm de mercurio (0,63 Barías, o 630 Milibarias u 84 kiloPascal kPa) o mayor. Esto significa que deben comenzar a contarse los treinta minutos desde el momento en que se alcanzan los 630 mm de mercurio y no desde que se enciende la bomba. Una vez pasado dicho lapso se comenzará a inundar el autoclave con solución, sin apagar la bomba de vacío.

El vacío inicial es muy importante, pues debe retirarse el aire de adentro de la madera para dejar lugar al preservante, de lo contrario la penetración podrá resultar insuficiente o irregular. No debe temerse que entre demasiado producto en la madera, pues esto se soluciona utilizando una solución más diluida. Cuanto mejor se haga el vacío inicial, menos solución refluirá al aplicar el vacío final, lo cual es conveniente ya que el producto recuperado normalmente está desbalanceado, y si es demasiado puede terminar por desbalancear la solución de trabajo provocando una madera defectuosamente tratada, y causando eventualmente el rechazo de la partida al efectuar el cliente el análisis de control.

Una vez inundado el autoclave se cerrará la válvula que lo conecta con el depósito de solución y se pondrá en funcionamiento la bomba de presión.

Presión.

Se debe ejercer presión hasta que la madera no absorba más solución preservante, es decir, "a rechazo",



apagando la bomba sólo cuando no se aprecie descenso alguno en la columna del depósito de solución preservante por unos diez minutos.

Este método garantiza una impregnación total y uniforme, obteniéndose una madera impregnada confiable, de primera calidad. Con la práctica el operador de la planta conocerá la madera y, tomando en cuenta que ésta absorbe más cuanto más seca está, podrá regular la concentración de la solución para impregnar a rechazo sin desperdiciar producto. La posibilidad de regular la concentración de la solución de trabajo es una ventaja de los preservantes hidrosolubles que debemos aprovechar.

La presión debe alcanzar valores entre los 12 y los 14 Kg/Cm². (1.176,8 kPa – 1.372,9 kPa)

Una vez concluido el paso anterior se vacía el autoclave utilizando la bomba de circulación y abriendo una entrada de aire que ocupará el lugar que deja libre la solución dentro del autoclave.

Vacío final.

Una vez vaciado el autoclave, se cierran las válvulas correspondientes y se vuelve a encender la bomba de vacío. La finalidad de este último paso es escurrir la madera para impedir que salga goteando solución cuando la sacamos del autoclave. De esta manera se trabajará con mayor limpieza y seguridad para el medio ambiente, el personal de la planta y los clientes.

Para este fin, normalmente alcanza con unos diez minutos de funcionamiento de la bomba de vacío, dependiendo del rendimiento de las bombas y del tipo de madera. Si requiere más tiempo de vacío final habrá que controlar si está realizando correctamente el vacío inicial.

El proceso de impregnación termina con el vacío final. La madera adquirirá, a medida que se seque, una leve coloración verdosa. La intensidad de esta coloración depende de muchos factores, quizás principalmente del secado, por este motivo, un verde más intenso no implica una mayor retención.

A partir de la salida del autoclave, comienza el proceso de fijación del preservante en la madera. Este proceso depende del tiempo transcurrido y de la temperatura. A 21°C la fijación se completa razonablemente en 5 días. El secado artificial asegura la fijación.

El mercado de la madera impregnada está compuesto de distintos sectores que son muy diferentes entre sí y con distintas exigencias. El sector de postes puede ser muy demandante de mercadería en algunos momentos y también muy exigente de calidad. Existen grandes empresas compradoras de postes de eucalipto, como ser distribuidoras eléctricas, de telefonía, internet, cooperativas, televisión por cable, etc. La madera utilizada para postes es fundamentalmente el eucalipto, aunque ya contamos, con una norma de postes de pino.

Por otro lado, tenemos el mercado de madera para viñas, que se concentra fundamentalmente en la primera parte del año. Esta demanda de madera de eucalipto impregnada se da en mayor medida en las provincias del Neuquén, Mendoza, San Juan, Catamarca, Salta, La Rioja, aunque la producción de uva se ha ido expandiendo a otras provincias. También aparecen otras producciones rurales demandantes de madera impregnada, como ser la manzana, las peras y el kiwi. También es importante, aunque atomizado, el mercado del poste para alambrados.

Por último, el mercado de la construcción con madera. Este mercado viene creciendo año a año y la madera utilizada en este caso es el eucalipto y el pino. La retención, es decir la cantidad de preservante que queda en la madera, variara según el uso y la exposición que tenga la madera.

Con respecto al registro de los preservantes para madera, al igual que los agroquímicos de uso tradicional en el campo, el mismo se lleva a cabo ante el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria), específicamente ante la Dirección de Agroquímicos y Biológicos.

La Dirección de Agroquímicos y Biológicos del Senasa se encarga del registro tanto de productos fitosanitarios como de fertilizantes. Toda empresa que quiera comercializar un producto debe pasar por el registro para poder comercializarlo a nivel nacional.

El Senasa ha puesto en funcionamiento un sistema de Trazabilidad. El objetivo de este Sistema es el



seguimiento de los productos fitosanitarios a lo largo de toda la cadena comercial.

La trazabilidad consiste en un procedimiento por el que, mediante el registro, identificación y transmisión de información, permite el seguimiento y localización de los productos trazados, desde su producción/importación y a lo largo de la cadena de comercialización.

El Sistema Nacional de Trazabilidad de Productos Fitosanitarios es de aplicación obligatoria en todo el territorio de la REPÚBLICA ARGENTINA, para todas las personas humanas o jurídicas que produzcan, importen, exporten, sinteticen, formulen, fraccionen, distribuyan, comercialicen, depositen y/o ejerzan la tenencia, con cualquier fin, de productos fitosanitarios inscriptos en el Registro Nacional de Terapéutica Vegetal del SENASA, a cargo de la Dirección de Agroquímicos y Biológicos de la Dirección Nacional de Protección Vegetal.

Tiene por objeto: **1)** identificar los productos fitosanitarios trazables mediante un código numérico otorgado por el SENASA, a través de la mencionada Dirección de Agroquímicos y Biológicos. **2)** Identificar los actores del Sistema mediante su Clave Única de Identificación Tributaria (C.U.I.T.). **3)** Georreferenciar cada uno de los depósitos de productos fitosanitarios que intervienen en el ámbito de aplicación del Sistema. **4)** Geolocalizar los productos fitosanitarios trazables a través de la declaración que realicen los actores en el Sistema, con respecto a los movimientos que efectúen los productos a través de toda la cadena de distribución, hasta el usuario final.

Con referencia a los preservadores disponibles en la actualidad en Argentina, hay tres empresas con registro de preservante CCA, de los cuales dos son formulados localmente y el tercero lo es en Brasil. También existen un registro de creosota, uno de CCB óxidos, y otro a base de carbonato básico de cobre y tebuconazole, todos con la finalidad de preservar madera en forma industrial, es decir mediante un autoclave.



UN CAMINO PARA LA FORESTO INDUSTRIA ARGENTINA ¿QUÉ NECESITAMOS PARA DESARROLLARLA Y QUÉ ES REALIZABLE?

Leandro MORA ALFONSIN¹

El sector foresto-industrial en Argentina muestra un potencial real que, a pesar de la dotación de recursos forestales, maduración de capacidades productivas y oportunidades, no ha podido ser aprovechado en su justa dimensión. El objetivo del presente documento es presentar descriptivamente el potencial del sector para así recomendar líneas de acción para promover su desarrollo.

La madera es un recurso renovable, reciclable, carbono neutral, con aplicación a múltiples industrias y derivaciones, entre las que se cuentan papeles, muebles, viviendas, energía, químicos y nuevas aplicaciones a partir de la nanotecnología y la biotecnología. Su plantación, extracción e industrialización es demandante de otras industrias y servicios complementarios en química, transporte, informática, ingeniería o diseño.

Además de las oportunidades de mercado que presenta en sus usos productivos y comerciales, el uso de madera hace un aporte significativo a la agenda de mitigación del cambio climático. Los productos de base forestal mantienen capacidad de secuestro y almacenaje de CO₂, a pesar de primeras y segundas transformaciones de producto. Esto los posiciona, gracias a la tecnología disponible actualmente, como sustitutos de productos intensivos en carbono en numerosos segmentos, como la industria de la construcción o el embalaje, de amplia difusión en el comercio internacional. De la misma forma, el desarrollo de la biomasa forestal como fuente de energía renovable constituye una oportunidad en el consumo energético de plantas industriales, calefacción hogareña y generación de energía eléctrica, entre otros usos.

La cadena de valor foresto-industrial argentina es una fuente de crecimiento para el país sobre bases renovables y de baja intensidad de carbono. Se posiciona como un sector importante para el desarrollo regional sostenible, proporcionando empleos tanto en zonas rurales como urbanas, sobre todo en el norte del país.

Dotación de recursos naturales

Argentina es un país rico en recursos forestales. Cuenta con 1,3 millones de hectáreas de plantaciones forestales (1 % de las plantaciones forestales del mundo) y casi 54 millones de hectáreas de bosques nativos. A su vez, según estimaciones públicas y privadas, tiene al menos 3,7 millones de hectáreas para expandir las plantaciones forestales que no afectan sitios de alto valor de conservación, ni compiten con bosques nativos ni con cultivos.

Las extracciones forestales provienen de bosques cultivados en el Litoral, donde las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos explican el 92 % de la producción de madera

comercial. La producción forestal en base a bosques nativos, en tanto, se destaca en las provincias de Chaco, Formosa y Santiago del Estero y en menor proporción el este de Salta, que en conjunto concentran el 80 % de la producción forestal nativa.

Dos tercios de la producción total de madera y el 90 % de la producción de rollo de madera industrializada (con usos para productos de madera, pulpa y papel) surgen de las plantaciones forestales, lo cual resta presión a los bosques nativos y los valoriza. Por su parte, los bosques nativos explican el tercio restante. En este segmento, el 80 % de la producción se centra en leña y carbón

¹ Este documento es una adaptación de: Mora Alfonsín (2023), "La foresto-industria en Argentina Oportunidades, desafíos y líneas de acción para una estrategia productiva sectorial" Plan Argentina Productiva 2030. Documento Complementario N° 38.



vegetal y, en menor medida, en la extracción de taninos y la fabricación de productos básicos de madera que completan los usos de la madera nativa con fines productivos.

Es en la Mesopotamia argentina donde se concentran las áreas de más alta productividad forestal, que permiten turnos de corte de 9 a 15 años en promedio (mientras en los países nórdicos dicho promedio se ubica entre los 30 a 45 años). A su vez, en esta región los suelos de explotación forestal no compiten con la agricultura ni zonas de bosques nativos. Las especies introducidas de pino y eucalipto son las que predominan en las plantaciones de esta zona, dadas las tasas de crecimiento y la demanda comercial que presentan, las cuales son muy superiores a las de las especies nativas. Este fenómeno se explica, en parte, tanto por sus prestaciones naturales en el proceso de transformación como por su homogeneidad.

Tendencias del mercado global

Esta dotación de recursos, con sus particulares condiciones de crecimiento, posiciona a nuestro país como un potencial competidor en el mercado internacional de base forestal, no en un rol protagónico, pero sí con perspectivas de inserción inteligente en segmentos de mercado que presentan oportunidades. Análisis privados y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) coinciden en que habrá una demanda creciente de productos industriales de base forestal en los próximos años, con perspectivas de crecimiento del 37 % hacia 2050 en sus equivalentes en madera en rollo. Los tableros de madera, paneles para la construcción y elementos de sistemas constructivos de madera, madera aserrada y celulosa liderarán este proceso, motorizado por el crecimiento de la población urbana y de la clase media; la expansión del comercio por internet (puerta a puerta) que requerirá más embalaje con base de papel y por las medidas de mitigación del cambio climático y sostenibilidad que promueven la sustitución de productos carbono-intensivos y no renovables. En este sentido, la FAO señala que en comparación con otros productos elaborados a partir de materiales no renovables o que producen muchas emisiones, los bienes de origen forestal son responsables de menos emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de sus ciclos de vida completos: por cada kilogramo de carbono de productos madereros utilizados en la construcción en sustitución de productos no madereros, se evitan, en promedio, alrededor de 0,9 kg de emisiones de carbono.

Asimismo, así como se incrementará la demanda de los productos tradicionales de base forestal (madera aserrada, tableros, biocombustibles –chips y pellets– y celulosa y papel), lo hará también la de los mercados en desarrollo, como los de derivados de la lignina, aplicaciones a fibra de carbono, nanocelulosa, biotextiles y nanomedicina. La clave en estos segmentos es avanzar casilleros en la complejidad técnica y nivel de desarrollo tecnológico sectorial.

En suma, existe una demanda creciente a nivel mundial de productos foresto-industriales, y pocas regiones con el potencial de Argentina para la producción sustentable de madera en tiempos y condiciones de retornos de mercado.

En este camino, la identificación de dichas oportunidades y su capitalización requiere como imprescindibles mejoras en el aprovechamiento productivo del recurso forestal de forma integral, modificando la situación actual en donde por año se consumen industrialmente 15 millones de m³ de madera sobre 20 millones de m³ disponibles anualmente, mientras que un poco más de medio millón de m³ se exporta en rollo, sin transformación. Revertir este desaprovechamiento de excedentes necesita de fortalecer e incrementar la demanda industrial, lo cual implica la necesidad de atraer inversiones capital y tecnológico intensivas, mejorar las prácticas de utilización del recurso forestal e incrementar la productividad de aserraderos y transformadores de materia prima a fin de reducir descartes al mínimo y aprovechar las distintas dimensiones de la transformación del rollo. De lo contrario, se agudizará la tendencia a primarizar la producción de esta cadena de valor y, por consiguiente, su oferta exportable.

Diagnóstico y potencial de la cadena foresto-industrial argentina

La cadena de valor foresto-industrial es ejemplo y contraejemplo al mismo tiempo en la discusión de una matriz productiva para el desarrollo argentino. Es, por un lado, junto a otros sectores, ejemplo del



potencial que las cadenas de valor con base en recursos naturales tienen para el desarrollo de regiones históricamente rezagadas del circuito económico nacional; de las posibilidades de agregación de valor y potencial de inserción en mercados internacionales; y, al mismo tiempo, de la capacidad de potenciar actividades económicas que puedan no solo desenvolverse de manera sostenible, sino que también pueden tener un impacto positivo en términos ambientales, como es el caso de la foresto-industria.

No obstante, la experiencia de la industria maderera en Argentina sirve de contraejemplo como un testimonio de las oportunidades perdidas ante la falta de estrategia. Mientras los países de la región desde 2005 captaron inversiones foresto-industriales por casi USD 28.000 millones, la Argentina no registró ninguna nueva operación², lo que nos lleva a tratar de responder: ¿Qué ocurre en países de similares características y en algunos casos menos dotados de recursos de base forestal para que se aprecien trayectorias tan disímiles? ¿Cómo empezar a cerrar la brecha en la que hemos quedado como vagón de cola en un marco donde las inversiones a la región seguirán llegando, al punto que se espera que América Latina explique el 60 % de la producción de celulosa mundial hacia 2030?

En este devenir, Uruguay es el espejo que nos devuelve la imagen de lo que no fue y de donde se pueden aprender lecciones. Luego del rechazo social a la instalación de la papelera de la finesa Metsä Fibre (Botnia) en Entre Ríos y tras un conflicto diplomático entre ambos países rioplatenses cuando la empresa inversora optó por migrar la inversión a Uruguay, en 2007 la firma abrió su primera planta en Fray Bentos, dando inicio a la industria celulósico-papelera de escala uruguaya. Dos años después, la empresa Montes del Plata, un joint venture de las internacionales Arauco (Chile) y Stora-Enso (Suecia-Finlandia), inauguró una planta de celulosa de fibra corta en Conchillas, Departamento de Colonia. En 2023, Metsä Fibre abrió una segunda planta en la localidad de Paso de los Toros; una inversión de USD 2.700 millones que generará 10.000 empleos estables en su fase madura. A menos de 20 años de su nacimiento, el sector celulósico-papelero uruguayo explica el 3 % del PIB y exportaciones por USD 1.600 millones. Pasados 17 años del conflicto diplomático con Uruguay, ninguna auditoría indicó que la actividad de la planta Botnia en Fray Bentos opere de manera no sustentable en las costas del Río Uruguay.

La capacidad de producción de celulosa en Argentina se ha mantenido estable desde mediados de los '80. Hacia 1990, el tamaño de la industria celulósica brasileña era 4,5 veces la argentina, mientras que la chilena se encontraba al mismo nivel y las uruguayas y paraguayas aún no estaban desarrolladas. Hoy la industria brasileña de celulosa es 20 veces el tamaño de la argentina, la de Chile es casi 6 veces más grande y la de Uruguay representa el triple, sin contar las inversiones en marcha a inaugurarse en Brasil y las ya mencionadas en Uruguay. Ni la primera planta de celulosa paraguaya, Paracel (un joint venture paraguayo-sueco), que con una inversión de USD 3.600 millones pasará a producir 1,8 millones de toneladas de celulosa, utilizando en su primera fase un porcentaje de madera argentina no industrializada en nuestro país.

Los procesos de desarrollo de estos países integraron inversiones capital intensivas demandantes de altos volúmenes de materia prima como parte de estrategias de aprovechamiento integral del recurso maderero. En Argentina, la falta de demanda industrial de escala hace que haya un excedente de 5 millones de m³ de madera anuales sobre una producción anual total de 20 millones de m³ que no tienen destino productivo. Solo con ese excedente podría estar funcionando una planta de celulosa de fibra larga (pino) con capacidad para producir 1 millón de tn/año de producto y exportar por USD 425 millones. Una planta de tales características consume 4 millones de m³ de materia prima, por lo que aún sobraría 1 millón de m³ de excedente.

A su vez, esta subutilización convive con un déficit comercial estructural del sector cercano a los USD 500 millones promedio en la última década, donde pesan con protagonismo papeles de embalaje a base de fibra larga importados de Brasil que podrían fabricarse en el país. Se da la paradoja de que sobra recurso de base forestal, pero se configuran incentivos para que se siembre por debajo de lo

² En abril de 2024, se inauguró la planta de Acon Timber en Virasoro, Corrientes. Una inversión de USD 280 millones, siendo la más destacable de los últimos años, muy lejos del promedio regional.



cosechado, dotando de incertidumbre la provisión de materia prima en el futuro si no aumenta la capacidad de procesamiento.

Sin embargo, es una trampa de la que se puede salir. Dimensionar esta comparativa y punto de partida nos permite apreciar dónde estamos parados en el devenir del desarrollo maderero industrial de la región hasta estos momentos. La cadena de valor foresto-industrial argentina cuenta con recursos y capacidades tanto para recuperar gran parte del terreno perdido como para ser un protagonista de peso en la matriz productiva argentina. Además de sus hectáreas forestadas efectivas y potenciales, comparte con sus vecinos un bioma que privilegia la productividad forestal del suelo: en la Mesopotamia argentina los turnos de corte son un tercio en promedio con respecto a los países nórdicos. Y a la vez, cuenta con capacidades operativas de más de 60 años del segmento más capital-intensivo. La incidencia de la actividad foresto-industrial en el NEA y parte del NOA caracteriza al sector como un potencial dinamizador de dichas economías regionales, permitiendo pensar estrategias de crecimiento productivo en equilibrio territorial.

Al mismo tiempo, en los próximos años se mantendrá firme la demanda internacional de bienes de base forestal. La perspectiva general es de un crecimiento del 37 % hacia 2050 de productos madereros en su equivalente en rollo, donde destacan un incremento proyectado del 102 % de la demanda de tableros contrachapados (utilizados en la construcción y transporte internacional), 72 % de los tableros de fibra y partículas (insumos principales de la industria del mueble), 40% en la demanda de papel y cartón (con fuerte protagonismo del papel para embalaje aplicado al comercio), 29 % la madera aserrada y 5 % la pulpa de base forestal. Estas magnitudes son particularmente importantes al tener en cuenta los plazos largos que manejan las operaciones foresto industriales, con extensiones de hasta 40 años.

Asia se posiciona como la principal demandante de productos de base forestal, en parte por la evolución socioeconómica de su clase media, el incremento del comercio y la sofisticación de su demanda en el segmento papelerero, mueblero y de energía a base de madera y en parte por la escasez de bosques aprovechables que sufre en los últimos años y las consecuentes prohibiciones de tala que hacen insuficiente su provisión interna de recurso para la escala de su industria celulósico-papelera y mueblera. El dilema y desafío que se abre ante tan importante vector de demanda es cómo lograr vender productos con la mayor agregación de valor posible, evitando la primarización de la canasta exportable. La respuesta radica en valorizar la forestación local a través de mayor demanda industrial de madera.

Al ser la mayoría de los segmentos de escala procesos integrados, los proyectos de inversión susceptibles de ser captados pueden desarrollar operaciones en distintos subsectores. Si Argentina lograra atraer inversiones por USD 7.000 millones hasta el 2030 (que en términos de proyectos equivale a 2 plantas grandes de celulosa de fibra corta o una de fibra corta, una de fibra larga y un proyecto integrado de celulosa y papel kraft), podría cuadruplicarse la capacidad productiva de madera para tablas y tableros, cuadruplicarse la producción de celulosa y hasta triplicarse la de papel y cartón, generando más de 61.000 empleos formales nuevos, exportaciones extra por más de USD 1.500 millones y una sustitución de importaciones cercana a los USD 500 millones, lo que transformaría en superávit la estructuralmente deficitaria balanza comercial sectorial.

Este documento sostiene, en línea con recientes trabajos desarrollados por el sector privado, que la foresto-industria argentina hacia 2030 podría incrementar su participación en el empleo registrado nacional, pasando de 1,1 % a 1,6 %, incrementar sus exportaciones en más de USD 1.500 millones y al mismo tiempo sustituir importaciones, incrementar la superficie forestal plantada a 2 millones de hectáreas y aportar a los compromisos asumidos por la Argentina en la mitigación del cambio climático.

Asimismo, y siguiendo una estrategia con un marcado objetivo de aprovechamiento integral del recurso forestal, se abren oportunidades en nuevos segmentos, menos desarrollados, pero con oportunidades amplias de crecimiento tanto en el mercado interno como externo. Se trata de la energía a base de madera, la construcción con madera y las aplicaciones bioeconómicas (biorrefinerías y nanotecnología) de los subproductos de origen forestal.



La demanda mundial de biomasa a base de madera se proyecta en 44.000 millones de toneladas hacia 2060, un 158% de crecimiento respecto a 2017. Pese a los elevados costos de transporte de la energía en sí, se abren también oportunidades en la producción y comercialización fraccionada de pellets hacia las regiones más demandantes (Europa y Asia) en función de la estructura que compone su matriz energética.

La construcción con madera, por su parte, puede aportar soluciones a un problema estructural de la Argentina como el déficit habitacional. Esto configura una oportunidad para los aserraderos pyme con capacidad de integrarse a proyectos deslocalizados o ganando escalas crecientes en virtud de la optimización de procesos. Su impacto en el empleo es significativo y tiene como externalidad por la naturaleza de su demanda incentivos a la formalización que otras actividades desarrolladas por aserraderos no tienen. Las ventajas de construir en madera se aprecian en la velocidad, costos, consumo energético y emisiones de carbono menores respecto al resto de los materiales de construcción.

Las aplicaciones que las biorrefinerías y la nanotecnología pueden lograr para los subproductos de los procesos foresto-industrial son amplias, con alcances a los sectores de alimentos, textiles, bioplásticos y, especialmente, en la industria química como sustitutos de materiales y compuestos. El punto focal en esta ventana de oportunidad se basa en la investigación y desarrollo sobre iniciativas, hoy piloto, que puedan tener aplicaciones comerciales a escala y nichos de mercado con salida exportadora.

El camino posible

La virtud de este potencial y estas oportunidades requieren de una política de Estado que trascienda períodos electorales y trace una estrategia para la cadena de valor foresto-industrial, ordenando prioridades. El primer objetivo central es la orientación de esfuerzos a la atracción de inversiones de escala, lo que requiere la coordinación de tres elementos fundamentales: en primer lugar, un orden macroeconómico y el acceso a financiamiento para la concreción de proyectos. En segundo término, se debe adecuar el marco normativo para que iguale las condiciones de competitividad respecto de los países de la región y facilite la adquisición de tierras para proyectos foresto-industriales extranjeros que requieran de forestación propia y tengan como destino exclusivo la explotación del misma, incluyendo mecanismos de excepción a Ley N° 26.737 de tierras rurales a través de la fijación de condiciones especiales según su uso específico de la tierra y de acuerdo a su vida útil.

Y en tercer lugar, un factor que excede lo meramente técnico, es el trabajo sobre la licencia social. Esto involucra la concientización sobre los datos objetivos del impacto ambiental de la actividad foresto-industrial que, contrario al prejuicio que derivó en los conflictos ya descritos, tiene externalidades positivas en materia ambiental a través de mayor forestación, la fijación de carbono en los productos madereros y la capacidad de sustitución de productos no renovables que implica el desarrollo del potencial sectorial.

El Estado Nacional debe desplegar líneas de acción público-privadas en materia de institucionalidad sectorial, financiamiento orientado estratégicamente, formación continua y capacitación, manejo forestal, certificación, estándares de calidad y sostenibilidad y ordenamiento territorial. La alta informalidad en el segmento pyme y las necesidades de mejorar el acervo tecnológico del stock de capital son elocuentes.

En resumen, se necesitan intervenciones prioritarias desde el Estado Nacional para mejorar el marco normativo, con el cumplimiento de los incentivos actuales a la forestación estipulados por ley y la creación de instrumentos legales que superen los obstáculos para la instalación de grandes proyectos foresto-industriales para la atracción de imprescindibles inversiones. Y, por otro lado, el despliegue de líneas de acción público-privadas en materia de institucionalidad sectorial, financiamiento orientado estratégicamente, formación continua y capacitación, manejo forestal, estándares de calidad y sostenibilidad y ordenamiento territorial.

Este documento busca dar a conocer el potencial que la cadena de valor foresto-industrial tiene para explotar como pieza del rompecabezas del desarrollo argentino. Busca acercar, en primer lugar, una



radiografía actualizada y completa de la industria de base forestal argentina que permita dimensionar los recursos y escalas para los que el sector tiene capacidad. Conocer al sector, sus actividades, actores, obstáculos y estrategias facilitadoras es un acercamiento para conocer mejor la realidad productiva y las soluciones que puede aportar. Al mismo tiempo, se presentan las oportunidades trazadas por el contexto y las previsiones de demanda futura, a la vez que se exploran las alternativas para ser capitalizadas y aprovechadas, no sin considerar los desafíos y debilidades que se enfrentan. Se presenta también un vector de metas hacia 2030 para el sector y recomendaciones de políticas para lograr tales objetivos.

Quedan abiertos los planes de acción específicos para cada recomendación de política, para los cuales este documento espera poder ser un insumo de utilidad.

Volver ejemplo al contraejemplo es el desafío pendiente. Transitar el camino de la agregación de valor, aprovechando el recurso natural de forma inteligente y sostenible, optimizando oportunidades, invirtiendo en producir más y mejor. No existe estrategia que no requiera de un largo camino. Pero pueden capitalizarse victorias tempranas en la próxima década. Para lograrlo se requiere la decisión colectiva cuya ausencia supo frenarnos. La decisión colectiva de ir hacia el camino del desarrollo apostando por la producción nacional y el trabajo argentino. Tener industria es una decisión Política y colectiva.



CONTRIBUCIONES VOLUNTARIAS



EVALUACIÓN GENÉTICA DEL CRECIMIENTO INICIAL DE CLONES PUROS E HÍBRIDOS COMERCIALES DE *Eucalyptus* EN CORRIENTES, ARGENTINA

Augusto J. LÓPEZ¹, Juan A. LÓPEZ²; Nicolás I. STAHRINGER³, Humberto C. DALURZO³

RESUMEN

Un total de 19 clones comerciales generados por programas Públicos y Privados fueron implantados en una red de 4 ensayos ubicados en sitios representativos de las cuencas forestales de Corrientes. Dicho material corresponde a 15 clones puros de *Eucalyptus grandis*, 3 de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y 1 de *E. grandis* x *E. urophylla*. El diseño experimental utilizado fue de bloques de tratamientos aleatorizados en parcelas de un solo árbol. Utilizando la metodología REML/BLUP se analizó el crecimiento inicial de la altura a los 17 meses de edad de los 4 ensayos, se estimó la magnitud de la interacción genotipo-ambiente, los valores genotípicos puntuales y sus respectivos intervalos de confianza. Dichos resultados son discutidos en el presente trabajo.

Palabras clave: *selección genética, valores genotípicos, interacción genotipo-ambiente*

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina el 39,5 % de la superficie implantada con eucalipto se localiza en la provincia de Corrientes (SAGyP-DFI, 2024) y corresponde mayoritariamente a plantaciones de *Eucalyptus grandis*. Si bien la mayor parte de esta superficie ha sido implantada con material seminal, la incorporación de clones a las nuevas plantaciones está en continuo aumento (Dalla Tea, 2020). Dichos clones comercialmente disponibles en Argentina (*E. grandis* puro y en combinaciones híbridas con *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E. urophylla* principalmente) fueron generados por programas Públicos o Privados seleccionados en diversas situaciones, incluso fuera del país. Sin embargo, entre dichos materiales, al menos con los clones más difundidos, no existe o son muy parciales los nexos experimentales que permitan evaluar comparativamente el comportamiento sitio-específico de esos genotipos, siendo esta cuestión una demanda insatisfecha del sector productivo. Por tal motivo, en el año 2022 se instaló una red de ensayos en 4 sitios representativos de las cuencas forestales de Corrientes con el objetivo de abordar de manera integral aspectos genéticos, silvícolas y ambientales utilizando diferentes esquemas de competencia genotípica y de manejo, monitoreando *in situ* variables ambientales dentro y fuera de cada ensayo. Esta propuesta fue financiada de manera conjunta por un PROYECTO FEDERAL DE INNOVACIÓN (MINCyT-COFECyT) y el INTA (López et al., 2023). Uno de los esquemas de competencia genotípica incluido en dicho Proyecto se refiere al diseño de bloques de tratamientos aleatorizados en parcelas de un solo árbol (*Single Tree Plots*). Este diseño experimental es ampliamente utilizado en diferentes etapas de los Programas de Mejoramiento Genético Forestal y de Selección Clonal debido a su alta eficiencia estadística y por permitir la inclusión de numerosas accesiones ocupando una superficie reducida (White et al., 2007). Por ello, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) analizar el crecimiento inicial a los 17 meses de edad de los 4 ensayos de la red instalada en la provincia de Corrientes con el diseño experimental antes descrito y 2) verificar la existencia de interacción genotipo-ambiente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material evaluado procede de los Programas de Selección/Mejoramiento del INTA, Pomera Maderas S.A., Forestal Argentina S.A. y Paul Forestal S.R.L. Un total de 19 clones fueron implantados en cada

¹ Grupo Forestal EEA INTA Bella Vista, e-mail: lopez.javier@inta.gob.ar

² Ex grupo Forestal EEA INTA Bella Vista

³ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE



ensayo y corresponden a 15 clones puros de *Eucalyptus grandis* y 4 clones híbridos (*E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. urophylla*) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clones comerciales evaluados.

Clones puros e híbridos	Denominación	Obtendores
<i>Eucalyptus grandis</i>	EG-INTA-1, EG-INTA-35, EG-INTA-36, EG-INTA-152, EG-INTA-157, EG-INTA-164	INTA
	DDT2136, DDT2155, DDT2228	POMERA MADERAS S.A.
	FA 50, FA 60, FA 80, FA 81	FORESTAL ARGENTINA SA
	G492 PF, G629 PF	PAUL FORESTAL S.R.L.
<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	GC-INTA-24, GC-INTA-27	INTA
	DDX0078	POMERA MADERAS S.A.
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	DDX0026	POMERA MADERAS S.A.

Los ensayos fueron instalados entre el 25 de octubre y el 9 de noviembre de 2022. El diseño experimental correspondió al de bloques de tratamientos aleatorizados en parcelas de un solo árbol con 18 repeticiones en el Sitio 1 y 20 repeticiones en los sitios 2, 3 y 4. La distancia de plantación en todos los ensayos fue de 4 m x 3 m y la silvicultura de establecimiento fue determinada por cada empresa. Durante los primeros meses posteriores a la implantación, se realizó un detallado muestreo de suelos de los sitios de estudio en conjunto con la Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos (FCA, UNNE). Los análisis de las muestras obtenidas fueron realizados en el Laboratorio de dicha Cátedra. Un resumen de las determinaciones realizadas se presenta en la descripción de los sitios (Cuadro 2). Cabe destacar además que, durante los primeros meses desde la implantación de los ensayos, la provincia fue afectada por sequías asociadas al fenómeno “La Niña”. En este sentido, las precipitaciones acumuladas en los primeros 4 meses (noviembre 2022 - febrero 2023) correspondieron solo al 26,9 % en el Sitio 1; 48,0 % en el Sitio 2; 15,6 % en el Sitio 3 y 29,5 % en el Sitio 4 en relación a los promedios históricos obtenidos de las series meteorológicas de las empresas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de las características generales de los diferentes sitios.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Latitud (S)	28° 05' 08,9''	27° 43' 32,3''	29° 03' 27,0''	29° 37' 18,6''
Longitud (O)	55° 45' 54,0''	56° 28' 42,6''	58° 51' 10,7''	57° 06' 39,6''
Departamento	Santo Tomé	Ituzaingó	Lavalle	Paso de los Libres
Establecimiento	Garruchos	Puerto Valle	Las Taperitas	Buena Vista
PP (mm) ⁽¹⁾	1846 – 1395 – (180)	1712 – 1669 – (306)	1411 – 566 – (121)	1518 – 1101 – (176)
Serie de Suelo	ARROYO ITAEMBÉ	MARTINEZ CUÉ	CHAVARRÍA	ZUGASTI
Textura-drenaje	Arcilloso rojo bien drenado	Franco arenoso bien drenado	Arenoso de drenaje imperfecto	Franco arenoso de drenaje imperfecto
MO (%) ⁽²⁾	4,12 – 3,45	1,33 – 1,09	1,56 – 0,72	2,02 – 1,01
S/Bases (%) ⁽²⁾	90,6 – 84,7	77,8 – 58,6	94,6 – 96,5	95 – 90,3
Uso anterior	2 ^{da} rotación eucalipto	3 ^a rotación eucalipto	1 ^a rotación pino	1 ^a rotación pino
Fertilización ⁽³⁾	120 g/planta	120 g/planta	Sin fertilización	Sin fertilización

⁽¹⁾ PP precipitación media anual histórica – media anual 2022 – (**precipitación acumulada primeros 4 meses de los ensayos, nov. 2022 – feb. 2023**); ⁽²⁾ Materia Orgánica (MO) y Saturación de Bases (S/Bases) a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm respectivamente; ⁽³⁾ **Sitios 1 y 2** 120g iniciales de N(15,5), P(39), K(6), Ca(0,5), Mg(1); **Sitio 3** Sin fertilización por sequía grave (G. Perrotti, comunicación personal, marzo 2023), **Sitio 4** Sin fertilización por política de la empresa (M. Spriegel, comunicación personal, noviembre de 2022).

En cada ensayo se midió altura total (ALT) y diámetro a 1,30 m (DAP) a los 17 meses de edad. Debido a la alta correlación genética observada entre ambos rasgos (Sitio 1=0,90, Sitio 2=0,82; Sitio 3=0,90 y Sitio 4=0,92) y dado que, la altura a edades juveniles se considera el mejor indicador de la calidad de sitio y, además, permite una mejor visualización de la velocidad de crecimiento inicial de los materiales evaluados, solo se presentan los resultados referidos a dicho rasgo.

La información fue procesada con la metodología de modelos mixtos utilizando el programa SELEGEN-REML/BLUP (versión 2014). Este *software* estadístico y de selección genética realiza la estimación de los componentes de varianza con el método REML (máxima verosimilitud restringida) y la predicción de los valores genotípicos con el procedimiento BLUP (mejor predictor lineal insesgado).



Para el análisis a nivel de sitios individuales, pares de sitios y para el conjunto de los 4 sitios la información fue analizada con los datos originales de ALT. No obstante, también para el análisis de pares de sitios y para el conjunto de los 4 sitios se realizó una estandarización de dichos datos dividiendo la altura de cada rameto por la desviación estándar fenotípica del bloque donde dicho rameto se encontraba ubicado. Esta estrategia (White et al., 2007) remueve los posibles efectos de escala que pueden causar una falsa interacción genotipo x ambiente debido a las diferencias en las varianzas fenotípicas entre sitios.

La significancia de los efectos aleatorios (clones) fue estimada a través de la Prueba de Razón de Verosimilitud (*LRT: likelihood ratio test*) confrontando con el valor de Chi cuadrado (χ^2) con 1 grado de libertad. A efectos de predecir las diferencias genotípicas entre los materiales estudiados, se estimaron los límites superior e inferior de los intervalos de confianza de los valores genotípicos (VG) por medio de la siguiente expresión: $VG \pm t \times \text{Desvío Estándar del VG}$, donde t es el valor de la distribución de t de Student al 95 % de confianza (Resende, 2002).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Prueba de Razón de Verosimilitud (LRT) cotejada con el test de Chi cuadrado, detectó diferencias significativas al 1 % para los efectos genotípicos (clones) en todos los análisis realizados (Cuadro 3).

Uno de los parámetros genéticos más importantes es la heredabilidad, ya que cuantifica la fracción de la variación total que es de naturaleza heredable. Desde el punto de vista práctico, al tratarse de clones, el parámetro indicado para la selección genotípica es la heredabilidad en sentido amplio a nivel de media de clones. Tal como se consigna en el Cuadro 3, los valores estimados para dicho parámetro fueron muy altos en todos los casos ($\hat{H}_{mc}^2 \geq 0,90$), indicando un alto control genético y buenas perspectivas para la selección/comparación de los materiales evaluados (Cuadro 3). Magnitudes de \hat{H}_{mc}^2 entre 0,75 y 0,92 fueron consignadas para el crecimiento en altura a edades juveniles por Ignacio-Sanchez et al. (2005), Moraes et al. (2014, 2015) y Nunez et al. (2018).

Cuadro 3. Parámetros genéticos de ALT (REML individual) a los 17 meses de edad a nivel de sitios individuales y del conjunto de los 4 sitios evaluados.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Conjunto ^(SE)	Conjunto ^(E)
<i>LRT</i>	186,4**	125,7**	110,5**	106,0**	46,3**	52,9**
\hat{H}_{mc}^2	0,96	0,93	0,92	0,92	0,90	0,92
r_{gg}	0,98	0,97	0,98	0,97	0,96	0,96
\widehat{CV}_e %	8,13	7,17	10,06	14,63	9,87	9,01
\bar{x} (m)	9,44	10,64	8,14	7,86	9,01	7,51

^(SE) datos sin estandarizar; ^(E) datos estandarizados; *LRT* Prueba de Razón de Verosimilitud; ** significativo al 1 % test de Chi cuadrado; \hat{H}_{mc}^2 heredabilidad de la media de clones en sentido amplio considerando la media armónica del número de repeticiones; r_{gg} exactitud selectiva; \widehat{CV}_e % coeficiente de variación experimental; \bar{x} media general del experimento en metros.

Por su parte (Cuadro 3), la exactitud selectiva estimada (r_{gg}) varió entre 0,96 % y 0,98 %, evidenciando alta precisión en las inferencias de las medias genotípicas. Sumado a ello, los \widehat{CV}_e fueron bajos y los crecimientos medios observados para ALT (\bar{x} media general de los ensayos) fueron altos para todos los sitios (entre 7,86 m y 10,64 m).

Cuadro 4. Correlaciones genotípicas entre pares de sitios utilizando datos sin estandarizar (arriba de la diagonal) y estandarizados (debajo de la diagonal) y para el conjunto de los 4 sitios.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Sitio 1		0,68	0,69	0,78
Sitio 2	0,77		0,74	0,85
Sitio 3	0,72	0,75		0,80
Sitio 4	0,80	0,94	0,80	
Conjunto (sin estandarizar)				0,76
Conjunto (estandarizado)				0,80



Las correlaciones genéticas entre pares de sitios (Cuadro 4) fueron moderadas a altas (0,68-0,85 con datos sin estandarizar y 0,72-0,94 con datos estandarizados). Para el conjunto de los 4 sitios fueron altas (0,76 y 0,80). En todos los casos la estandarización realizada, que lleva a la varianza fenotípica de cada sitio a un valor cercano a la unidad sin alterar las comparaciones relativas entre las medias de los genotipos (White et al., 2007), minimizó la magnitud de la interacción simple. Resultados similares de correlaciones genéticas entre sitios son mencionados por Furlan et al. (2020) para altura y diámetro al sexto año en clones de *Eucayptus* ssp. (0,7 y 0,8 respectivamente).

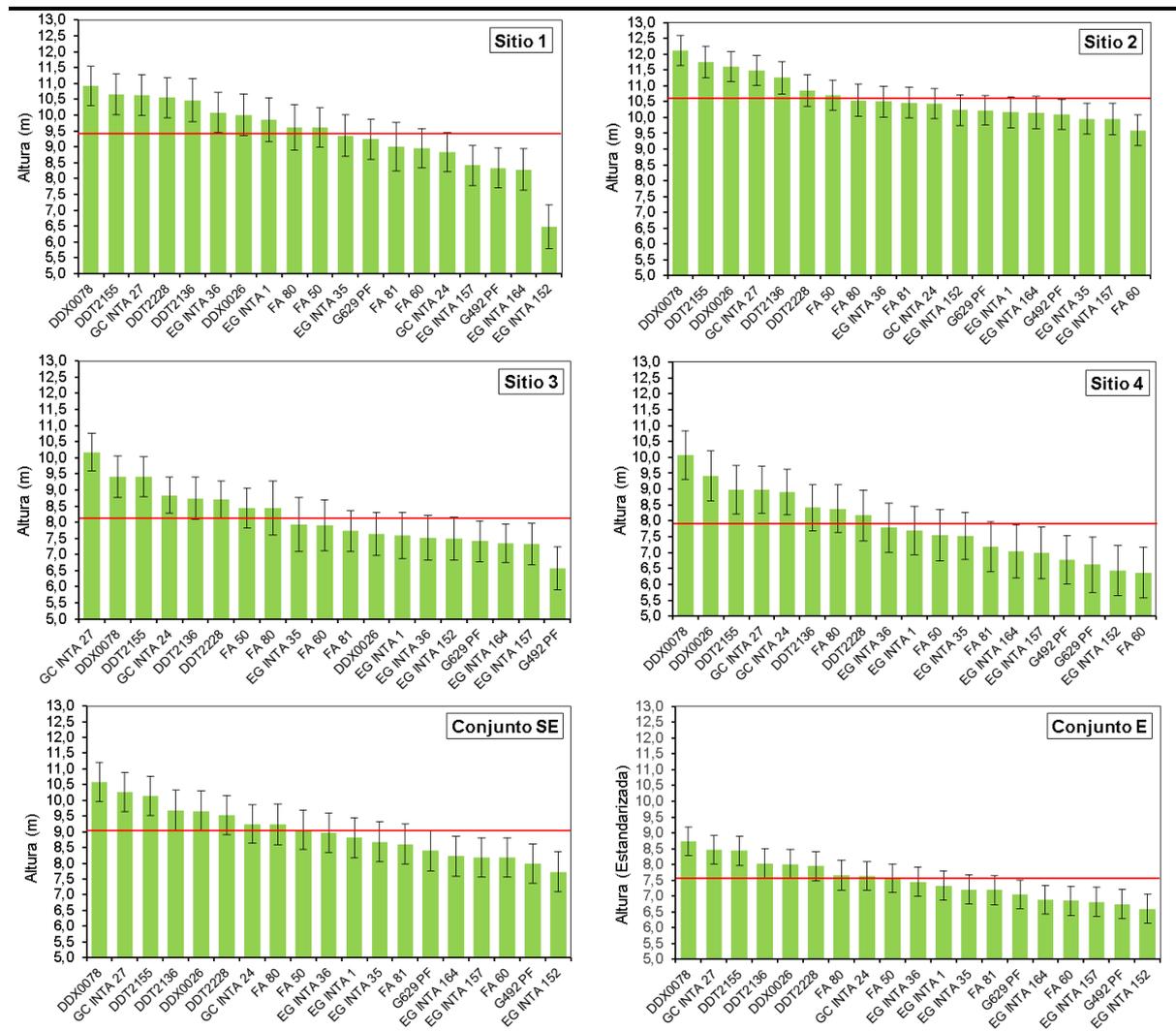


Figura 1. Valores genotípicos (VG) de los materiales evaluados a los 17 meses de edad en los 4 sitios y a través del análisis conjunto utilizando datos originales sin y con estandarización. Las barras verticales indican los límites superior e inferior de los intervalos de confianza al 95 %. La línea roja indica la media general de cada ensayo y de los análisis conjuntos.

Según Resende y Duarte (2007) cuando se evalúan tratamientos genéticos en experimentos de campo las medias fenotípicas no son adecuadas para hacer inferencias sobre los valores genotípicos (VG) dado que, los efectos de bloques y parcelas están integrados, en cierta medida, en las medias fenotípicas. Por ello, los VG libres de efectos ambientales (\bar{x} media general del experimento + el efecto genotípico estimado por el BLUP) permiten predecir las medias futuras de dichos materiales cuando vuelvan a ser implantados en los mismos sitios. En la Figura 1 se observan leves cambios en el orden de los valores genotípicos puntuales de los clones evaluados a pesar de las escasas precipitaciones ocurridas durante las primeras etapas de desarrollo, las diferencias en las Series de suelo, el uso anterior de los sitios y la silvicultura de establecimiento (Cuadro 3).



Sin embargo, además de la estimación puntual en términos de la inferencia estadística, Resende (2002) menciona que la inferencia a través de intervalos de confianza proporciona mayor certidumbre a la hora de recomendar el uso de determinados genotipos. En este sentido, considerando el análisis con datos estandarizados (Figura 1, Conjunto E) los primeros 6 clones no se diferenciaron estadísticamente, teniendo en cuenta el solapamiento de los intervalos de confianza del 95 %. Así mismo y tomando arbitrariamente como base de comparación al último clon del grupo anteriormente mencionado (DDT2228), el mismo no se diferenció de los 8 clones siguientes (DDT2228 al G629 PF). Comparando con igual criterio el último clon (EG INTA 152) éste no se diferenció significativamente de los 9 clones anteriores (EG INTA 152 al EG INTA 36).

Las evaluaciones a los 17 meses de edad claramente no son concluyentes, si bien numerosos antecedentes muestran altas correlaciones entre edades juveniles, White et al. (2007) teniendo en cuenta aspectos genéticos, logísticos y económicos consideran la edad óptima de selección entre el 25 % y el 50 % del turno de cosecha. Sumado a ello, las escasas precipitaciones ocurridas durante los primeros meses de los ensayos, agravadas por precipitaciones inferiores al promedio histórico en el año 2022 en la mayoría de los sitios, podrían provocar el aumento de las diferencias entre clones. En este sentido, Bouvet (1997) sugiere que estas diferencias podrían reducirse al desaparecer las condiciones limitantes con el restablecimiento de las condiciones normales con relación al nivel de precipitaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Pomera Maderas S.A., Forestal Argentina S.A., Taperitas SA, Paul Forestales S.R.L., Decoppet S. A. y a los profesionales/responsables de estas que colaboraron con la preparación de los terrenos, logística, plantas y apoyo de campo para el desarrollo de esta investigación. Así también a los Auxiliares Juan Sanchez y Cristian Almirón del Grupo Forestal de la EEA Bella Vista.

5. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- DALLA TEA, F. 2020. Tecnología del eucalipto: especies y clones para la cuenca del río Uruguay. Recuperado de: <https://maderamen.com.ar/development-forestal/2020/07/14/tecnologia-del-eucalipto-especies-y-clones-rio-uruguay/>
- BOUVET, J.M. 1997. Effect of spacing on juvenile growth and variability of *Eucalyptus* clones. Can. J. For. Res. 27: 174-179.
- IGNACIO-SANCHEZ, E.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J.J.; LÓPEZ-UPTON, J.; et. al. 2005. Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de madera en edades juveniles de *Eucalyptus urophylla* S. T. BLAKE Agrociencia 39: 469-479.
- LÓPEZ, A.J.; LÓPEZ, J.A. y STAHRINGER, N.I. 2023. Abordaje sincrónico, integral y transdisciplinario de aspectos silvícolas, genéticos y ambientales con clones de *Eucalyptus* en diferentes sitios de la provincia de Corrientes, Argentina. XIX Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones. 3p.
- MORAES, C.B.; FREITAS, T.C.M.; PIERONI, G.B.; et. al. 2014. Estimativas de parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. Scientia Forestalis 42: 219-227.
- MORAES, C.B.; TAMBARUSSI, E.V.; ABÍLIO, F.M.; et al. 2015. Estimativas de parâmetros genéticos para la selección de clones de *Eucalyptus* en la región de Botucatu, SP. Rev. Inst. Flor. 27: 145-153.
- NUNEZ, A.C.P.; SANTOS, O.P., SANTOS, G.A.; RESENDE, M.D.V. 2018. Statistical strategies design based on competition classes of *Eucalyptus* clones. Industrial Crops & Products 124: 66–73.
- RESENDE, M.D.V. 2002. Genética biométrica y estadística no melhoramento de plantas perenes. Brasilia: Embrapa informação Tecnológica. 2002. ISBN 85-7383-161-8. 975 p.
- RESENDE, M.D.V. y DUARTE, J.B. 2007. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. Pesquisa Agropecuária Tropical 37: 182-194.
- SAGyP-Desarrollo Foresto Industrial, 2024. Tablero de Plantaciones Forestales. Datos actualizados a marzo de 2024. Disponible en <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/development-foresto-industrial/>. Verificado el 05/05/2024.
- SELEGEN-REML/BLUP. 2014. Sistema Estatístico e Selecao Genetica Computadorizada. Versión Junho 2014. Embrapa-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Copyright: INPI Nº 00052763.
- WHITE, T.L.; ADAMS, W.T. and NEALE, D.B. 2007. Forest genetics. CABI Publishing. ISBN 9780851993485. 704 p.



EVALUACIÓN DE ESPECIES Y CLONES DE EUCALIPTOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA – ARGENTINA

Francisco MARRARO ACUÑA¹, Amanda CORA², Leonel HARRAND³, Sebastián CHIACCHIERA⁴.

RESUMEN

Se evaluaron ocho materiales genéticos de eucaliptos en el centro sur de la provincia de Córdoba. Estos fueron: 4 especies de *Eucalyptus* (*E. dunnii*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E. benthamii*), 3 clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC-INTA-8, GC-INTA-9 y GC-INTA-27) y un clon de *E. grandis* (EG-INTA-152). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; cada bloque estuvo compuesto por ocho parcelas, una por cada material genético, de 36 plantas cada una (4x9), con un marco de plantación de 4 m x 4 m. Se evaluó sobrevivencia, altura total y diámetro a la altura del pecho (DAP) a los 27 meses y daño por frío al año de implantados. Se destacan *E. benthamii* y GC-INTA-9 por presentar valores de sobrevivencia y crecimiento que resultan similares a los observados en regiones con mayor aptitud forestal.

Palabras clave: *Eucalyptus*, plan agroforestal, región pampeana

1. INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático global son visibles, afectan la productividad de los bosques e impactan en el inventario y flujo de carbono, además de incidir en la frecuencia e intensidad de incendios forestales, enfermedades y plagas. A escala global y regional se desarrollan fenómenos y procesos que ponen en riesgo las economías, la vida rural y el ambiente. Además, el aumento de la frecuencia de eventos extremos (inundaciones, sequías, olas de calor o frío) impacta negativamente en el sector rural y en áreas urbanas (Camilloni, 2018). En particular, en la provincia de Córdoba ocurren inundaciones, anegamientos de campos agropecuarios y crecidas sin precedentes de los ríos, entre otros (Sasia et al., 2002). Es evidente que el modelo agropecuario no conservó las propiedades funcionales de los suelos para garantizar eficiencia en los procesos de movimiento de agua a nivel de predio y cuenca hidrográfica. A su vez, los sistemas productivos han avanzado hacia ambientes más frágiles donde están desencadenando procesos de degradación (Jobbagy et al., 2008).

La Legislatura de la Provincia de Córdoba sancionó en el año 2017 la Ley provincial 10.467, por la cual el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Gobierno de Córdoba puso en marcha el Plan Agroforestal que pretende alcanzar en 10 años la implantación de árboles en unas 100.000 ha en toda la provincia. Para ello, cada predio debe estar cubierto con árboles entre el dos y el cinco por ciento de su superficie, proporción sujeta a la ubicación geográfica y características edafoclimáticas (Ley 10.467, 2017).

En la región pampeana de Córdoba existe un limitado a nulo desarrollo de plantaciones forestales. En este contexto, se hace imprescindible generar información sobre la aptitud de diferentes especies según las características del ambiente a intervenir (Marraro et al., 2023).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar clones y especies de eucaliptos en un ambiente característico del sureste de la provincia de Córdoba, donde el efecto del frío puede ser una limitante para estas especies.

¹ INTA EEA Manfredi. marraro.francisco@inta.gob.ar

² INTA EEA Manfredi. cora.manda@inta.gob.ar

³ INTA EEA Concordia. harrand.leonel@inta.gob.ar

⁴ INTA EEA Marcos Juárez. chiacchiera.sebastian@inta.gob.ar



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El ensayo fue instalado en septiembre de 2021 en la Estación Experimental Marcos Juárez del INTA, provincia de Córdoba (latitud sur 32,714133°; longitud oeste 62,098383°). El área corresponde a la región fitogeográfica estepa pampeana, pero, en la actualidad, solo existen cultivos agrícolas (maíz, trigo, sorgo, girasol, mijo) y pasturas basadas en alfalfa, acompañadas por gramíneas exóticas.

El suelo es fértil y productivo, con buena capacidad de retención de humedad y se usa tanto para agricultura intensiva o extensiva como para ganadería, aunque presenta una ligera limitación climática por las bajas temperaturas. Es oscuro, profundo y bien drenado. Posee lomas casi planas y está desarrollado sobre un sedimento loésico de textura franco-limosa.

En cuanto al clima, la temperatura media anual es de 16,9 °C, con una mínima absoluta de -8 °C y una frecuencia media de 22,5 días con heladas al año. La precipitación media anual es de 894 mm.

Materiales. Los materiales evaluados fueron provistos por el “Programa de mejoramiento genético de eucaliptos del INTA” y se los menciona a continuación:

Especies: *Eucalyptus dunnii* (HSP Castelar; ED), *Eucalyptus camaldulensis* (HSP Famaillá; EC), *Eucalyptus tereticornis* (RS Balcarce; ET) y *Eucalyptus benthamii* (Proc. Australia; EB).

Clones híbridos (*E. grandis* x *E. camaldulensis*): GC-INTA-8, GC-INTA-9 y GC-INTA-27.

Clon puro (*E. grandis*): EG -INTA-152

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada bloque estuvo compuesto por ocho parcelas, una por cada material genético, de 36 plantas cada una (4 líneas de 9 individuos), con un marco de plantación de 4 m x 4 m.

Evaluación. En agosto de 2022, luego de la primera temporada invernal desde la plantación, se evaluó el daño por frío experimentado por las 14 plantas centrales de cada parcela. Se utilizó una escala de 3 puntos donde el “0” indica que la planta no evidenció daños, “1” que presentó daños leves y “2” que los daños fueron severos. Luego, se calculó un Índice de daño por frío (IF) multiplicando el valor nominal de la escala por su frecuencia relativa.

En junio de 2024, luego de tres temporadas de crecimiento (37 meses desde la plantación), se evaluó la supervivencia de las plantas mencionadas anteriormente, mediante un conteo de plantas vivas y muertas. Esta variable fue expresada como porcentaje de plantas vivas. También se midió la altura total de las plantas en metros y el diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros.

Se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo, 2020) para realizar el Análisis de la Varianza y su correspondiente prueba de comparación de medias DGC (α 0,05).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los materiales genéticos de eucaliptos evaluados presentaron valores de supervivencia que oscilaron entre el 29 %, *E. camaldulensis*, y el 90 %, *E. benthamii* (Cuadro 1). Las diferencias entre materiales resultaron estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Estos valores de supervivencia son inferiores a los obtenidos por Harrand et al. (2016) para las especies *E. benthamii*, *E. camaldulensis*, *E. dunnii*, *E. grandis* y *E. tereticornis*. Estos autores observaron valores superiores al 80 % en sitios de la provincia de Entre Ríos, donde la condición hídrica y las temperaturas resultan menos severas que en Marcos Juárez. Por su parte, Pujato et al. (1983) consideran satisfactoria una supervivencia con valores entre el 70 y 89 % para *E. dunnii* en plantaciones de un año. En un trabajo similar, en la zona del delta bonaerense, Monteverde et al. (2020) obtuvieron valores de supervivencia de 74 % y 73 % para *E. dunnii* y *E. benthamii* a los 1,8 años, manteniendo estos valores a los 6 años. Estos autores consideran a estas especies como las de mejor adaptación en su estudio y las sugieren como alternativa de cultivo en esa región.



En Córdoba, *E. benthamii*, con 90 % de sobrevivencia, se comportó de manera similar a lo observado por Monteverde et al. (2020) en el delta. Esta especie no presentó diferencias significativas con el clon híbrido GC-9 cuya sobrevivencia fue del 83 %.

En la Provincia de Buenos Aires, Pathauer et al. (2005) evaluando clones híbridos y algunas especies de eucalipto, consideran promisorios los resultados de sobrevivencia de algunos materiales por ser superiores al 80 %, entre ellos, los clones híbridos GC-8, GC-9 y GC-27. Sin embargo, en dicho trabajo, *E. dunnii* presentó en dos diferentes sitios, valores del 75 % e inferior al 20 %. En nuestra evaluación, la sobrevivencia de *E. dunnii* está dentro de ese rango (63 %), y solo GC-9 alcanzó valores similares a los obtenidos en Buenos Aires.

Acorde a la bibliografía existente y al comportamiento local de los materiales estudiados, se considera acertado establecer como línea de base un valor de sobrevivencia de al menos 75 % para considerar aceptable la adaptabilidad de los materiales. Solo *E. benthamii* y GC-9 cumplirían esta condición en Marcos Juárez.

Cuadro 1. Valor promedio, para cada material genético, de las variables sobrevivencia, altura total, DAP e índice de daño por frío (IF).

Material genético	Sobrevivencia (%)	Altura total (m)	DAP (cm)	IF
ET	50 b	4,93 a	7,68 a	0,93 c
EC	29 a	4,96 a	7,67 a	0,88 c
ED	64 b	6,36 b	9,04 a	0,38 b
EG-152	43 b	7,10 b	9,14 a	1,26 d
GC-27	55 b	8,61 c	12,46 c	0,67 c
GC-8	46 b	8,64 c	10,99 b	0,81 c
GC-9	83 c	8,99 c	12,72 c	0,95 c
EB	90 c	8,99 c	13,78 c	0,00 a

Tanto *E. benthamii* como los tres clones híbridos (*E. grandis* x *E. camaldulensis*), se destacan por su altura, y se diferencian significativamente del resto de los materiales. Algo similar ocurre al comparar el DAP, pero, en este caso, se distinguen del resto solo EB, GC-9 y GC-27 (entre 12,46 cm y 13,48 cm), el GC8 queda fuera del grupo de materiales de mayores dimensiones.

La altura desarrollada por *E. benthamii* es similar a lo observado por Lupi et al. (2022) en el delta del Paraná. Monteverde et al. (2020) obtuvieron alturas de 20,49 m y 21,13 m a los seis años para *E. dunnii* y *E. benthamii*, respectivamente; en nuestro caso se observó un crecimiento similar ya que al tercer año se alcanzaron alturas correspondientes a la mitad de lo observado por estos autores. Estos valores resultan menores a los obtenidos por Harrand et al. (2016) en un ensayo en Ubajay (Entre Ríos), donde los materiales alcanzaron la misma altura, pero 10 meses antes. La diferencia con *E. dunnii* en el ensayo de Ubajay fue aún mayor: a los 27 meses su altura fue de 8 m, contrario a los 6,36 m que se alcanzaron en el presente trabajo a los 37 meses.

Si bien se coincide con las apreciaciones de otros autores con respecto a *E. benthamii*, se difiere respecto al comportamiento de *E. dunnii*, ya que en Marcos Juárez fue inferior a *E. benthamii* y a los híbridos al alcanzar una altura significativamente inferior y presentar una sobrevivencia del 64 %.

El IF (Cuadro 1), que puede tomar valores de 0 a 3, permitió evaluar el daño sufrido por los materiales a causa del frío. *Eucalyptus benthamii* fue el único material que no presentó daños visibles por frío al momento de evaluación. Resultados similares fueron observados por otros autores (Harrand et al., 2016; Oberschelp et al., 2016). El resto de los materiales sí presentaron síntomas.

Eucalyptus dunnii es una especie que posee cierta tolerancia al frío y por ello es usada en el norte de la provincia de Buenos Aires (Ferrere et al., 2023), en la República Oriental del Uruguay y en la Mesopotamia Argentina. Esta selección, por sobre *E. grandis*, aplica para aquellos ambientes con altas probabilidades de pérdidas provocadas por heladas (Harrand y Marcó, 2012). Particularmente, en Marcos Juárez, también demostró esta superioridad frente a otros materiales.



Regionalmente, *E. camaldulensis* suele mencionarse como una especie tolerante al frío (Marcó y Harrand, 2005), pero el material de *E. camaldulensis* aquí evaluado corresponde a un huerto de individuos de orígenes de la región NE de Australia (López, 2005), que corresponde a otras subespecies, por lo que es razonable que hayan presentado valores de IF superiores a *E. benthamii* o *E. dunnii*.

En nuestra región de trabajo, con inviernos más rigurosos, los materiales genéticos de eucalipto son sometidos a condiciones severas y se comportan de manera diferente a lo observado en la Mesopotamia Argentina (Harrand y Marcó, 2012; Harrand et al., 2016). Sin embargo, se observa que *E. benthamii* y GC-9 son materiales promisorios para su implantación en la región, por presentar valores de sobrevivencia y crecimiento similares a los observados en regiones con mayor aptitud y larga historia forestal (Harrand y Marco, 2012). Se confirma de esta manera lo mencionado por Harrand y Marco (2012), quienes destacan el comportamiento de los clones híbridos aquí evaluados, por su tolerancia al frío y buen crecimiento.

4. CONCLUSIÓN

La evaluación de los materiales genéticos de eucaliptos permitió identificar a *E. benthamii* y al clon híbrido GC-9 como promisorios para su implantación en el sureste de la provincia de Córdoba, tanto por su supervivencia como por su crecimiento inicial. Es necesario continuar con este tipo de evaluaciones en la región, con estos y otros materiales.

5. LITERATURA CITADA

- CAMILLONI, I. A. 2018. Argentina y el cambio climático. Ciencia e investigación 68 (5): 5-10.
- DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- FERRERE, P.; PALAZZINI, D.; LUPI, A.M.; PATHAUER, P. 2023. Herramientas para la estimación del crecimiento y la producción de plantaciones de *Eucalyptus dunnii* (Maiden) en el N de la Región Pampeana. En: Actas del VIII Congreso Forestal Latinoamericano y V Congreso Forestal Argentino. 27 a 30 de mayo de 2023. Mendoza. Pp: 561-563.
- HARRAND, L.; MARCÓ, M.A. 2012. Investigación hacia el desarrollo de material genético tolerante al frío. XXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Octubre 2012. Concordia Entre Ríos.
- HARRAND, L.; OBERSCHELP, G.P.J.; SALTO, C.S.; MARCO, M.A. 2016. Evaluación de comportamiento de especies de eucaliptos en ambientes de Entre Ríos. VII Reunión GEMFO. San Miguel de Tucumán, Argentina. 24-26 de agosto de 2016. Pp: 21-24.
- JOBBAGY, E.G.; NOSETTO, M.D.; SANTONI, C.S.; BALDI, G. 2008. El desafío ecológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. Ecología austral 18(3): 305-322.
- LEY 10.467. Plan provincial Agroforestal. 2017. Publicada en el Boletín Oficial el 13 de septiembre de 2017.
- LÓPEZ, C. 2005. Mejoramiento genético en *Eucalyptus camaldulensis* y *Prosopis*. En: Mejores Árboles para más Forestadores. Pp: 183-192.
- LUPI, A.M.; RIMSKI-KORSAKOV, H.; FOSCO, I.; GARCIA CONDE, J.M. 2022. Crecimiento de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage fertilizado con N y P, en albardones del Delta del Paraná. XXVIII Congreso argentino de la ciencia del suelo. Buenos Aires.
- MARCÓ, M.; HARRAND, L. 2005. Valor potencial de los Eucaliptos colorados en combinaciones híbridas. En: I Jornada sobre potencialidad foresto-industrial del eucalipto en Santiago del Estero. Santiago del Estero, 16 y 17 de junio de 2005. <https://fcf.unse.edu.ar/eventos/1-jornadas-forestales/idx.htm>
- MARRARO ACUÑA, F.; CORA, A.; MONGUILLOT, L. 2023. Crecimiento de sauces y álamos en el Departamento Río Primero-Córdoba-Argentina. Disponible el 29/7/2024: <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/14850>
- MONTEVERDE, M.S.; SCHAPOVALOFF, J.; RAUTE, G.; FOSCO, I.; AUSTIN, R. 2020. Evaluación de nuevas especies de eucaliptos para frío en el delta Bonaerense. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia Entre Ríos.
- OBERSCHELP, G.P.J.; GUARNASCHELLI, A.B.; MARGARIT, E.; PODESTA, F.; TESÓN, N.; PASTORINI, G.N.; BIANCHI, E.G.; HARRAND, L. 2016. Evaluación de tolerancia a estrés por temperaturas de congelación en tres especies de *Eucalyptus*: primeros resultados. VII Reunión GEMFO. San Miguel de Tucumán, Argentina. 24-26 de agosto de 2016. Pp: 49-52.



- PATHAUER, P.; LUPI, A.; CAPPA, E.P. 2005. Instalación y evaluación temprana de progenies de *Eucalyptus camaldulensis* y clones híbridos de *Eucalyptus* en suelos de baja productividad. En: Domesticación y mejoramiento de especies forestales: subprograma Eucalyptus y otras latifoliadas. Pp 59
- PUJATO, J.; MARLATS, R.M.; GIMENEZ, S. 1983. *Eucalyptus dunnii*: crecimiento y resistencia a las heladas en el primer año de plantación. Actas del V congreso Forestal Argentino. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. pp 36-39.
- SASIA, A.D.; CISNEROS, J.M.; GUTIÉRREZ, A.C.; CAMARASA, A. 2002. Las inundaciones en la Provincia de Córdoba (Argentina) y las tecnologías de información geográfica: Ejemplos de Aplicación. Serie geográfica 10: 143-163.



CLONES DE EUCALIPTOS EN LA REGION DE SÁENZ PEÑA, CHACO. PARTE 1: RESPUESTA A LAS HELADAS

Marcos A. ATANASIO¹, A. Lorena S. PERNOCHI¹, Leonel HARRAND²

RESUMEN

En la provincia del Chaco se impulsa la forestación con especies de rápido crecimiento. Se implantó un ensayo de clones de *Eucalyptus* para evaluar adaptación y crecimiento en la zona centro de la provincia. Con un diseño de parcelas lineales de 4 plantas y 4 repeticiones en bloques, se analizó la sobrevivencia y daño por helada en las etapas iniciales de implantación de 49 materiales diferentes (*E. grandis* -EG-, *E. grandis* x *E. camaldulensis* -GC- y *E. grandis* x *E. tereticornis* -GT-). La sobrevivencia inicial fue alta en todos los materiales. Las heladas afectaron de manera diferente entre materiales, principalmente los EG, y entre años. Se concluye que la realización de forestaciones con clones de eucaliptos en la región de Sáenz Peña es factible, pero debe considerarse los materiales genéticos a utilizar y la posibilidad de pérdidas por bajas temperatura que ocurran en el transcurso del año.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus híbrido*, heladas

1. INTRODUCCIÓN

En la provincia del Chaco desde 2010 se han iniciado algunas experiencias de plantación con especies de eucaliptos buscando impulsar la forestación con especies de rápido crecimiento (Ambroggio, 2010). Para establecer plantaciones rentables con especies exóticas como *Eucalyptus* spp., es necesario una selección de especies adecuadas a los sitios donde se plantará y objetivos de producción. La buena elección del material a utilizar posibilita la obtención de árboles con elevada sobrevivencia, de forma y crecimiento óptimo, y de menor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1995). La utilización de clones como estrategia de forestación, propone aprovechar la homogeneidad genética que esto implica, como ventaja productiva y de adaptación. Los clones híbridos interespecíficos de eucaliptos son generados en busca de reunir en una sola planta características deseables como: forma, densidad de madera, crecimiento, tolerancia a heladas, plagas y enfermedades, etc. (Harrand, 2005). El programa de mejoramiento genético de eucaliptos de INTA viene seleccionando y clonando materiales superiores de especies puras (en este caso *E. grandis*) como de híbridos interespecíficos como *E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. tereticornis*, entre otros (Harrand et al., 2016). Las forestaciones con algunas especies de *Eucalyptus*, sufren en ocasiones pérdidas severas por daños por heladas. El daño por helada sobre los árboles puede afectar en diferentes sentidos: el caso extremo es la muerte de esta planta, pero también reduce su copa activa, disminuyendo el crecimiento con relación a plantas menos afectadas, genera pérdida de dominancia apical, afectando la rectitud de los fustes, y es vía de ingreso de patógenos que generan pudriciones en la madera (García y Mastrandrea, 2018). El objetivo del presente trabajo es evaluar la adaptación a las condiciones edafoclimáticas de diferentes materiales clonales de eucaliptos en un sitio de la zona centro de la provincia del Chaco.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se instaló en octubre de 2015 en la localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco, ubicado a los 26° 49' 41" S y 60° 26' 45" O. Fue plantado con una densidad de 1.111 plantas/ha (3 m x 3 m), en un suelo de loma media tendida, clase de uso III, argiustol údico. El clima de la región es Subtropical intermedia entre marítima subhúmeda y continental seca, precipitación

¹ INTA Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. atanasio.marcos@inta.gob.ar; pernochi.lorena@inta.gob.ar

² INTA Estación Experimental Agropecuaria Concordia. harrand.leonel@inta.gob.ar



promedio anual de 999 mm, lluvias concentradas entre octubre y abril y con meses críticos (junio a agosto) de escasas precipitaciones. La temperatura media anual es de 22,5 °C, máxima de 28,2 °C y mínima de 14,8 °C, con extremos de -8,7 °C en agosto y 44,2 °C en diciembre. Los días con peligro de heladas meteorológicas, van desde el 12 de mayo hasta el 26 de setiembre, ampliando a 174 días/año promedio en las heladas agrometeorológicas. El diseño experimental empleado es de bloques completos al azar con 49 tratamientos (materiales) y 4 repeticiones (bloques). Cada repetición consta de una parcela lineal de 4 plantas por tratamiento y todo el ensayo cuenta con una bordura de doble línea con material de semilla de *E. grandis*. Los materiales genéticos implantados corresponden a clones del programa de mejoramiento genético de INTA: 31 clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), 5 clones *E. grandis* x *E. tereticornis* (GT), 9 clones *E. grandis* (EG) y como referencia, material proveniente de semilla de los huertos semilleros de INTA de *E. grandis* (EG, HSP Concordia), *E. camaldulensis* (HSP Famaillá, EC_Fam y semilla origen Petford, AUS, EC_Petf) y *E. tereticornis* (ET, HSP Balcarce)

Durante los dos primeros años, la región donde se encuentra el ensayo sufrió descensos de temperatura por debajo de 0 °C (heladas meteorológicas). Se analizó la serie temporal de temperaturas ocurridas en el sitio en 2016 y 2017, con los datos obtenidos en el Observatorio Agrometeorológico de la E.E.A. INTA Roque Sáenz Peña (Prof. Pedro Pablo Maciel, com. pers.). Se calculó la supervivencia de plantas al año de implantado y luego de las heladas ocurridas. En octubre de 2016 se midió la altura total de las plantas (en metros) y se clasificó el daño de heladas en una escala de 1 a 5 (donde 1 representa el menor o nulo daño). En 2017 no se realizó calificación a nivel de cada planta, observando a nivel general los daños ocurridos.

Se estimaron los valores genotípicos de altura y daño por helada al año, con la metodología de modelos mixtos utilizando el Modelo 2 del Software Selegen-Reml/Blup.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El momento de implantación del ensayo coincidió con un período de precipitaciones elevadas comparado con los registros históricos. Seguramente gracias a este evento, en lo que respecta a sobrevivencia de los materiales al primer año de implantado, esta se puede considerar muy buena, con valores entre el 75 % y 100 %, siendo los menores valores para el clon EG-155 (75 %) y el clon EG-435 (81 %). Estos mismos valores de sobrevivencia se mantuvieron al segundo año, a excepción de los clones EG-157 y EG-36, donde la sobrevivencia descendió del 94% al 81%, y del 95 % al 85%, respectivamente.

Fornés et al. (2023) para la Llanura Deprimida Salina (Leales, Tucumán) mencionan sobrevivencias variables para diferentes materiales clonales con valores entre 17 % y 83 %, pero con muerte total de todos los materiales EG en esas condiciones edáficas; en dicho ensayo los materiales que mostraron mejor comportamiento ante las limitantes edáficas pertenecen a los clones GT.

Observando el grado de daño de helada mostrado en el año 2016 (Imagen 1a), se muestra en el Gráfico 1 la no existencia de una relación entre el daño en copa alcanzado y la altura de las plantas. Así también se observa que en todos los grupos genéticos hay clones que presentaron alta tolerancia a las heladas mientras que otros sufrieron daños severos. (Cuadro 1)

Las heladas ocurridas en 2017 afectaron a todos los individuos, pero con diferentes niveles de daño. Individuos altos de 5 m a más de 7 m mostraron quemado solo los brotes apicales y algunos casos hasta el tercio superior de la copa (Imagen 1b). Este daño desapareció rápidamente en la etapa de crecimiento siguiente de manera que no afectó el crecimiento de los árboles. Las plantas inferiores a los 3 metros de altura sufrieron daño generalizado (100 % de la planta con el follaje seco). Los clones de *E. grandis* (junto al material de semilla EG) fueron los más afectados y con niveles mayores de daños e incluso secado total de plantas. Si bien muchas de estas las plantas rebrotan desde la base y se desarrollan nuevamente, se atrasan en el crecimiento y quedan nuevamente expuestas a las heladas sucesivas.

Otro efecto que produjo el frío fue la “explosión” de corteza a lo largo del tallo de las plantas (Imagen 1c). Este efecto se observó tanto en plantas con presencia de follaje quemado, como en otras donde

sobre el follaje no se observó daño. Posteriormente el crecimiento de las plantas cicatrizó estos deterioros de corteza.

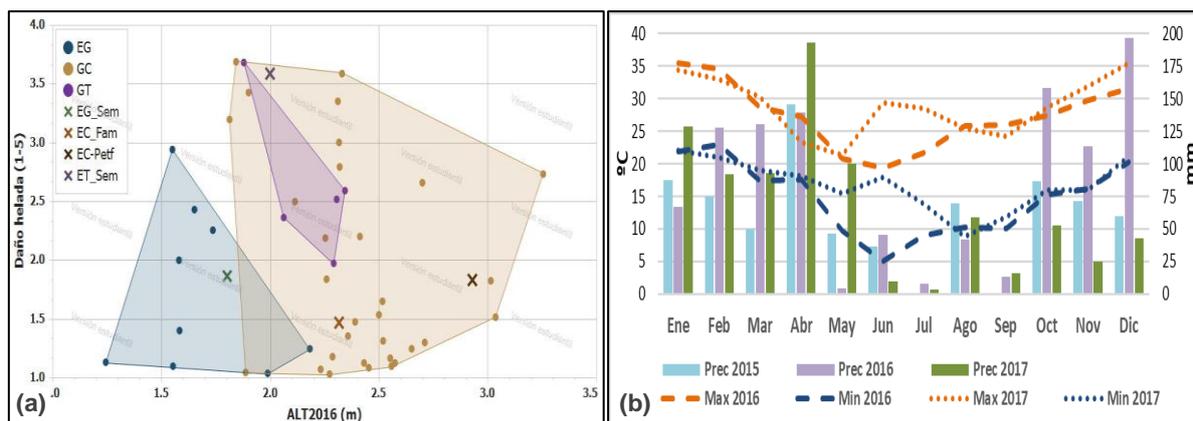


Gráfico 1. (a) Daño de helada promedio y altura alcanzada al año de implantado (valores genotípicos estimados), por los diferentes materiales clonales ensayados en Sáenz Peña (Chaco). (b) Registros de Precipitación y Temperatura Máxima media y Mínima media mensual para Sáenz Peña (Chaco). Datos brindados por el Prof. Pedro Pablo Maciel del Observatorio Agrometeorológico E.E.A. INTA Roque Sáenz Peña.



Imagen 1. Daño de helada sobre materiales clonales ensayados en Sáenz Peña (Chaco). (a) Plantas de 1 año, (b) Brotes levemente afectados en plantas de 2 años, (c) Daño sobre corteza.

El daño sufrido por las heladas se convirtió posteriormente en daños de quiebre en las plantas. Todos los materiales EG presentaron cierta proporción de plantas afectadas (EG-413: 13 %; EG-442: 79 %, como valores extremos de plantas vivas afectadas dentro del grupo). Dentro del grupo de clones GT, hubo materiales sin quiebre alguno (GT-44) como otros con 50 % de las plantas afectadas (GT-37). Para los clones GC, de los 31 materiales evaluados, la gran mayoría no presentó daño de quiebre, a excepción del clon GC-58 (93 % afectadas) y GC-9 y GC-115 con el 15 %. Los materiales de semilla ET, EC-Fam y EG presentaron 13 %, 25 % y 45 % de plantas quebradas, respectivamente. Respuestas muy favorables frente a las heladas en materiales clonales híbridos también encontraron Harrand y Oberschelp (2016), con tolerancias muy altas comparados con *E. grandis* y crecimientos muy satisfactorios.

A pesar de que las plantas se encontraban con mayor tamaño, se observó en general mayor daño luego de las heladas ocurridas en 2017. Frente a esta respuesta se analizó cómo fueron las temperaturas ocurridas en esos años. En términos de medias mensuales, se observa que los meses de junio y julio de 2016 fueron bastante más fríos que en 2017 (Gráfico 1b). Las heladas agrometeorológicas (en superficie, a la intemperie) fueron un total de 46 las ocurridas en 2016 (desde el 27/04 hasta el 25/09) y solamente 8 en 2017 (02/06 a 21/08). Sin embargo, ambos años presentaron



solamente 4 heladas meteorológicas (valores inferiores a 0 °C medidas en casilla a 1,5 m de altura), siendo la menor temperatura marcada en 2016 de -1,6 °C (12/06) y de -4,8 °C en 18/07/2017. A su vez, entre los meses de mayo a julio, en 2016 hubo solamente 12 días con temperaturas superiores a 25 °C mientras que en 2017 fueron un total de 39 días (Gráfico 2).

Cuadro 1. Promedio (valores genotípicos estimados) de Daño por helada (D.H., escala 1: nulo o muy poco daño; 5: daño total de la planta), altura total al año (ALT16) y a los dos años (ALT17) de implantación para todos los clones ensayados en Sáenz Peña (Chaco).

Mat. Genético	D.H.	ALT16 (m)	ALT17 (m)	Mat. Genético	D.H.	ALT16 (m)	ALT17 (m)	Mat. Genético	D.H.	ALT16 (m)	ALT17 (m)
EG_Sem	1.87	1.80	4.43	GC-8	2.19	2.25	4.95	GC-96	1.18	2.29	5.39
ET_Sem	3.59	2.00	4.33	GC-9	1.32	2.52	4.87	GC-97	1.66	2.52	5.33
EC_Fam	1.47	2.32	5.41	GC-12	1.84	2.26	5.00	GC-99	1.25	2.65	5.40
EC_Petf	1.84	2.93	5.80	GC-24	1.52	3.03	5.75	GC-101	1.13	2.57	5.29
				GC-27	1.36	2.36	5.57	GC-107	3.59	2.33	5.14
EG-1	2.00	1.58	4.55	GC-52	1.54	2.50	5.36	GC-109	2.80	2.32	4.87
EG-22	2.43	1.65	4.50	GC-58	3.43	1.90		GC-111	2.66	2.70	5.36
EG-36	2.25	1.73	4.06	GC-59	2.74	3.25	6.41	GC-115	1.05	1.89	4.60
EG-155	1.13	1.24	3.80	GC-82	1.08	2.23	5.16	GC-116	1.83	3.01	5.96
EG-157	2.94	1.55	4.53	GC-84	3.36	2.31	4.91	GC-118	1.17	2.55	5.27
EG-164	1.04	1.99	4.89	GC-86	3.20	1.81	4.25	GC-119	3.00	2.31	5.27
EG-413	1.25	2.18	4.89	GC-88	1.13	2.43	5.60	GC-122	2.21	2.41	5.26
EG-435	1.40	1.58	3.95	GC-90	1.03	2.27	4.79	GC-132	3.69	1.84	4.28
EG-442	1.10	1.55		GC-92	1.30	2.71	5.86	GC-133	1.10	2.56	5.69
				GC-93	1.48	2.39	5.36	GC-134	1.09	2.45	5.19
GT-31	1.97	2.29	5.44	GC-95	2.50	2.11	5.28				
GT-37	3.68	1.88	4.80								
GT-44	2.59	2.34	5.21								
GT-154	2.37	2.06	4.85								
GT-158	2.52	2.31	5.51								

Eucalyptus grandis es una especie considerada subtropical, donde en su lugar de origen la media del mes más frío está en alrededor de 3-8 °C, generalmente sin heladas o heladas ocasionales en las zonas de mayor altitud (Boland et al., 1985) y hay muchos informes que sugieren que *E. grandis* se considera una especie bastante sensible a las heladas en las plantaciones (Burgess, 1983). Por otro lado, *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*, poseen un amplio rango de distribución natural, donde algunas áreas de origen presentan más de 20 heladas al año (Boland et al., 1985).

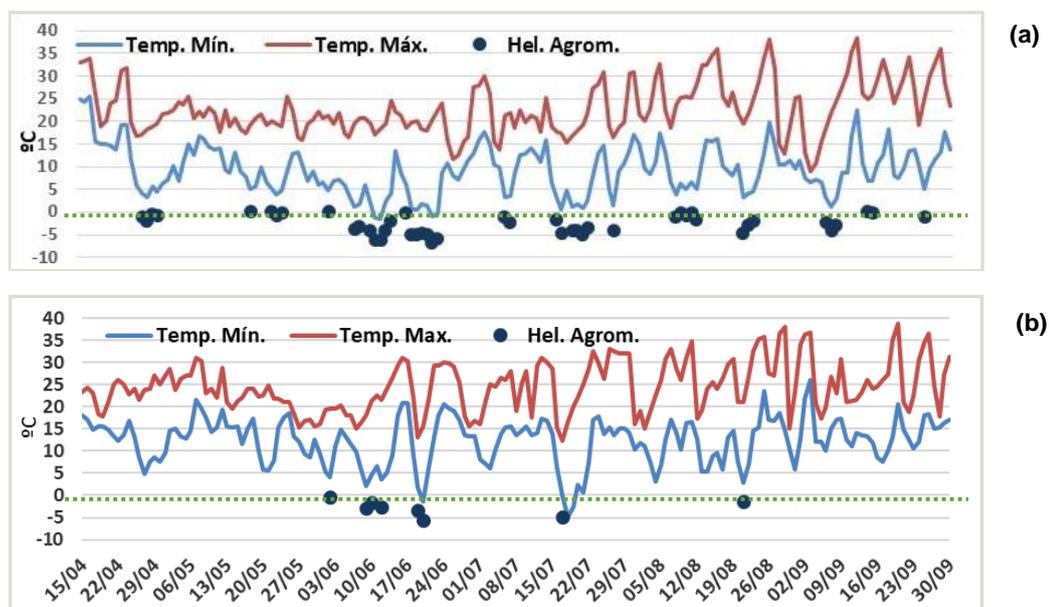


Gráfico 2. Registros diarios de temperaturas máximas mínimas y heladas agrometeorológicas entre el 15/04 y 30/09 de 2016 (a) y 2017 (b). Datos brindados por el Prof. Pedro Pablo Maciel del Observatorio Agrometeorológico E.E.A. INTA Roque Sáenz Peña.



La exposición de las plantas a períodos de bajas temperaturas previas a las temperaturas de congelamiento genera un endurecimiento (rustificación) de los tejidos, que les otorga mayor tolerancia a las heladas (Burgess, 1983, Oberschelp et al, 2016), y en sentido contrario, días previos de altas temperaturas, predisponen a las plantas a presentar un crecimiento activo con tejidos más sensibles al congelamiento (Garrán y Marcó, 2007)

Las diferencias observadas en el transcurso diario de las temperaturas entre ambos años con una temperatura extrema inferior, y amplitudes diarias mayores en 2017 explican el mayor daño presentado por las heladas en 2017, a pesar de poder considerarse en términos promedio un año menos frío que 2016. A su vez, la presencia de sangre de *E. camaldulensis* o *E. tereticornis* en los clones híbridos, brinda cierto grado de tolerancia al frío en comparación a *E. grandis*.

4. CONCLUSIONES

Es promisoría la realización de forestaciones con clones de eucaliptos en la región de Sáenz Peña (Chaco).

Los clones de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC) presentan un alto potencial de sobrevivencias en la zona. Las condiciones de temperatura que se presentan a lo largo del invierno predisponen diferencias en las plantas sobre la tolerancia al daño por heladas en los materiales de *Eucalyptus*. La presencia de sangre de *E. camaldulensis* o *E. tereticornis* en los clones híbridos, aportan de tolerancia al frío en comparación a *E. grandis*.

5. LITERATURA CITADA

- AMBROGGIO, N., 2010. Implantación de bosques de eucaliptos en el Chaco. Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco. Disponible en <http://direcciondebosques.blogspot.com/2010/09/hacia-la-implantacion-de-bosques-de.html> , consultado 29/07/2024.
- BOLAND, D.J. BROOKER M. I.H, CHIPPENDALE, G.M. HALL, N., HYLAND, B.P.M., JOHNSTON, R.D., KLEINIG, D.A.; TURNER, J.D.1985. Forest Trees of Australia. CSIRO ed. 687 p.
- BUERGESS, I.P. 1983. tolerance of two years old *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* to winter frost in Canberra. IUFRO-AFOCEL- Coloque international sur les *Eucalyptus* résistants au froid. Bordeaux, Francia. 26-30/9/1983. Pp 356-386.
- FORNES, L., SARAVIA, P., ANGUEIRA, S.P., FEYLING MONTERO, M., HARRAND, L. 2023. Determinación de umbrales edáficos para la implantación de clones de especies e híbridos de *Eucalyptus* en la llanura deprimida salina, Tucumán-Argentina. En: VIII Congreso Forestal Latinoamericano - V Congreso Forestal Argentino. 27 al 30/03/2023. Mendoza, Argentina. pp. 729-731
- GARCÍA, M.A.; MASTRANDREA, C.A. 2018. Defectos en madera de eucalipto asociados a daños por heladas en Entre Ríos, Argentina. Madera y Bosques, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431465>
- GARRÁN, S.M.; MARCÓ, M.A. 2007 El clima en la región de Concordia y sus heladas. En: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos, Argentina.
- HARRAND, L. 2005. La utilización de híbridos interespecíficos como alternativa forestal. IDIA XXI. Año V. N°8
- HARRAND, L., OBERSCHELP, J. 2016. Responses of *Eucalyptus grandis* and interspecific hybrids clones to severe frosts in the Mesopotamian region of Argentina. En: 4th International Conference of the IUFRO WORKING PARTY 2.09.02. September 19-23, 2016. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- HARRAND, L.; OBERSCHELP, J.; SALTO, C.; MARCÓ, M.; LÓPEZ, J.A. 2016. Ensayos clonales de especies e híbridos de *Eucalyptus*. Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. ISBN 978-897.1873-40-1:61-62.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1995. Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Grupo Forestal, EEA INTA Concordia. Entre Ríos, Argentina. 163 pp.
- OBERSCHELP, G.P.J.; GUARNASCHELLI, A.B.; MARGARIT, E.; PODESTÁ, F.; TESÓN, N.; PASTORINI G.N.; BIANCHI E.G.; HARRAND, L. 2016. Evaluación de la tolerancia a estrés por temperaturas de congelación en tres especies de *Eucalyptus*: primeros resultados. En: VII Reunión GEMFO. Tucumán, Argentina. pp 49-52.
- SELEGEN-REML/BLUP. 2014. Sistema Estatístico e Selecao Genética Computadorizada. Embrapa-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. INPI N° 00052763.



CLONES DE EUCALIPTOS EN LA REGION DE SÁENZ PEÑA, CHACO. PARTE 2: COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS

Marcos A. ATANASIO¹, A. Lorena S. PERNOCHI¹, Leonel HARRAND²

RESUMEN

En la provincia del Chaco se impulsa la forestación con especies de rápido crecimiento. Se implantó un ensayo de clones de *Eucalyptus* para evaluar adaptación y crecimiento en la zona centro de la provincia. Con un diseño de parcelas lineales de 4 plantas y 4 repeticiones en bloques, se analizó el crecimiento en diámetro, altura y volumen hasta el 8º año de 49 materiales diferentes (*E. grandis* -EG-, *E. grandis* x *E. camaldulensis* -GC- y *E. grandis* x *E. tereticornis* -GT-). Los mejores crecimientos al 5º año se presentaron en los materiales GC, seguidos por los GT, con diámetro de 13,7 cm y altura de 13,4 m en el mejor de los clones. Al 8º año, el mejor clon (GC-118) rinde el equivalente a 308 m³/ha de madera, mientras que el clon EG-36 solamente 67 m³/ha. Se concluye que es promisoría la realización de forestaciones con clones de eucaliptos en la región de Sáenz Peña y que los clones de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC) presentan un alto potencial de crecimiento.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus híbrido*, *productividad*

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Chaco no posee una larga historia en lo que respecta a plantaciones forestales, contando en la actualidad con 6.141 ha forestadas, siendo el 77 % de esta superficie especies nativas (SAGyP-DFI, 2024). Por esta razón, desde 2010 se han iniciado algunas experiencias de plantación con especies de eucaliptos buscando impulsar la forestación con especies de rápido crecimiento (Ambroggio, 2010). Para establecer plantaciones rentables con especies exóticas como *Eucalyptus* spp., es necesario una selección de especies adecuadas a los sitios donde se plantará y objetivos de producción. La buena elección del material a utilizar posibilita la obtención de árboles con elevada sobrevivencia, de forma y crecimiento óptimo, y de menor susceptibilidad a plagas y enfermedades (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1995). La utilización de clones como estrategia de forestación, propone aprovechar la homogeneidad genética que esto implica, como ventaja productiva y de adaptación. Los clones híbridos interespecíficos de eucaliptos son generados en busca de reunir en una sola planta características deseables como: forma, densidad de madera, crecimiento, tolerancia a heladas, plagas y enfermedades, etc. (Harrand, 2005). El programa de mejoramiento genético de eucaliptos de INTA viene seleccionando y clonando materiales superiores de especies puras (en este caso *E. grandis*) como de híbridos interespecíficos como *E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. tereticornis*, entre otros (Harrand et al., 2016). Los diferentes materiales de *Eucalyptus* pueden proveer madera aserrable (Martínez, 2022), como también cubrir otras demandas: postes, usos energéticos o producción de carbón (Gauna et al., 2022; Maggio et al., 2022). El objetivo del presente trabajo es evaluar la adaptación y crecimiento alcanzado por diferentes materiales clonales de eucaliptos en un período de 8 años en un sitio de la zona centro de la provincia de Chaco.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se instaló en octubre de 2015 en la localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco, ubicado a los 26° 49' 41" de latitud sur y 60° 26' 45,63" de longitud oeste. Fue plantado con una densidad de 1.111 plantas/ha (3 m x 3 m), en un suelo de loma media tendida, clase de uso III, argiustol údico. El clima de la región es Subtropical intermedia entre marítima subhúmeda y continental seca,

¹ INTA Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. atanasio.marcos@inta.gob.ar; pernochi.lorena@inta.gob.ar

² INTA Estación Experimental Agropecuaria Concordia. harrand.leonel@inta.gob.ar



precipitación promedio anual es de 999 mm, lluvias concentradas entre octubre y abril y con meses críticos (junio a agosto) de escasas precipitaciones. La temperatura media anual es de 22,5 °C, máxima de 28,2 °C y mínima de 14,8 °C, con extremos de -8,7 °C en agosto y 44,2 °C en diciembre. Los días con peligro de heladas meteorológicas, van desde el 12 de mayo hasta el 26 de setiembre y de 174 días/año promedio en las heladas agrometeorológicas. El diseño experimental empleado es de bloques completos al azar con 49 tratamientos (materiales) y 4 repeticiones (bloques). Cada repetición consta de una parcela lineal de 4 plantas por tratamiento y todo el ensayo cuenta con una bordura de doble línea con material de semilla de *E. grandis*. Los materiales genéticos implantados corresponden a clones del programa de mejoramiento genético de INTA: 31 clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), 5 clones *E. grandis* x *E. teriticornis* (GT), 9 clones *E. grandis* (EG) y como referencia, material proveniente de semilla de los huertos semilleros de INTA de *E. grandis* (EG, HSP Concordia), *E. camaldulensis* (HSP Famaillá, EC_Fam) y semilla origen Petford, AUS, EC_Petf) y *E. teriticornis* (ET, HSP Balcarce)

Durante el tiempo transcurrido, el ensayo fue sufriendo pérdidas de plantas por dos factores: el primero por la ocurrencia de heladas en los años 2016 y 2017, lo que provocó la muerte o daño y posterior quiebre de muchas plantas; el segundo por efecto de cortes no autorizados de plantas por parte de vecinos al predio del ensayo.

Para evaluar el crecimiento se midió el diámetro normal (DN, en cm) y la altura total (ALT, en m) de cada planta en los años 2016, 2017, 2019, 2020 y 2023, con los valores de DN y ALT se calculó el volumen individual (VOL, en m³) utilizando la fórmula de Fassola et al. (2007). Para la evaluación de los diferentes clones y la estimación de sus valores genotípicos, con la metodología de modelos mixtos, se utilizó el Software Selegen-Reml/Blup; dada la heterogeneidad espacial generada por las pérdidas de plantas, se realizó un análisis de utilizando el Modelo 127 que considera la utilización de una covariable, la que se definió como la suma del área basal de los árboles presentes circundantes a cada ejemplar.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En lo que respecta a sobrevivencia de los materiales al primer año de implantado, esta se puede considerar muy buena, con valores entre el 75 % y 100 %; se presentan los resultados con mayor detalle en Atanasio et al. (2024). Durante el primer año se observó ataque de avispa de la agalla (*Leptocybe invasa*) en prácticamente todos los materiales, en grado variable según el material genético, sin embargo, no se encontró asociación entre estos ataques y su crecimiento inicial (Atanasio et al., 2020).

Los clones evaluados tuvieron un comportamiento diferente en crecimiento según grupo genético (Cuadro 1 y Gráfico 1). En general, los clones de mejor crecimiento fueron los híbridos GC. Los clones EG tuvieron los menores crecimientos en estas condiciones, mientras que los clones híbridos GT presentaron un comportamiento intermedio a los otros grupos. Los materiales de semilla incorporados como referencia podrían dar cierta explicación sobre el comportamiento de los clones, donde los EG se comportan dentro de un rango alrededor del de semilla y los clones GC alrededor de la semilla EC. Sin embargo, los clones GT muestran un comportamiento superior a la semilla EG y ET. A pesar de que el material de referencia no es específicamente el material progenitor, podría suponerse cierto efecto de vigor híbrido (superioridad de los hijos frente a los padres) en crecimiento entre las especies, para estas condiciones de sitio.

En cuanto al crecimiento individual, los mejores clones GC, como el GC-118, GC-96 o GC-59, han más que duplicado el crecimiento mostrado por los mejores clones EG (EG-164 y EG-413). El mejor clon GT (GT-154) se encontró dentro de los mejores 10 clones.

En el Gráfico 2 se presenta el perfil de crecimiento en DN y ALT para algunos materiales clonales y los materiales de semilla, hasta el 8º año. Puede observarse que en general todos los materiales mantienen un perfil de crecimiento similar a lo largo de todo el período evaluado. Sin embargo, algunos como el GC-118 y el GT-154 presentan un incremento mayor en DN en el último período de medición (2023); en ALT se observa también un incremento mayor en estos 2 materiales y un incremento sensiblemente menor en el clon GC-9. Este comportamiento diferente en algunos materiales en lo que respecta a las curvas de crecimiento, muestra cómo las evaluaciones a temprana-mediana edad pueden resultar indicativas de la superioridad o no de ciertos clones, pero se pueden presentar casos en los que algunos clones mejoren o decaigan en su performance con el avance de la edad.



Los crecimientos obtenidos en esta evaluación para los materiales híbridos son muy alentadores cuando se los compara a los alcanzados en otros sitios del país, pero no así para los materiales EG. Considerada la sobrevivencia al último año, el mejor clon (GC-118) rinde el equivalente a 308 m³/ha de madera (con corteza, hasta punta fina de 5 cm), mientras que el clon EG-36 solamente 67 m³/ha.

Cuadro 1. Promedio (valores genotípicos estimados) de diámetro normal (DN), altura total (ALT) y volumen de fuste individual (VOL) a los 5 años para todos los clones ensayados en Sáenz Peña (Chaco).

Mat. Genético	DN (cm)	ALT (m)	VOL (m ³)	Mat. Genético	DN (cm)	ALT (m)	VOL (m ³)	Mat. Genético	DN (cm)	ALT (m)	VOL (m ³)
EG_Sem	8.8	10.0	0.039	GC-8	9.5	11.0	0.040	GC-99	11.1	12.7	0.058
ET_Sem	8.3	9.0	0.029	GC-9	10.9	12.2	0.057	GC-101	12.1	13.1	0.071
EC_Fam	11.8	12.1	0.068	GC-12	11.0	11.6	0.055	GC-107	10.2	12.1	0.047
EC_Petf	11.3	12.7	0.061	GC-24	12.4	13.3	0.074	GC-109	10.3	11.7	0.051
EG-36	8.9	10.3	0.034	GC-27	11.5	13.6	0.066	GC-111	11.1	12.3	0.058
EG-155	7.2	8.2	0.022	GC-52	12.8	11.9	0.073	GC-115	10.1	11.1	0.048
EG-157	7.8	9.0	0.034	GC-59	13.2	14.4	0.091	GC-116	12.2	14.2	0.083
EG-164	9.4	10.9	0.040	GC-82	13.1	13.8	0.086	GC-118	13.5	13.3	0.091
EG-413	9.6	11.0	0.039	GC-84	10.4	12.2	0.050	GC-119	10.5	12.3	0.051
EG-435	8.4	9.5	0.032	GC-86	8.9	10.7	0.035	GC-122	9.9	12.7	0.047
GT-31	10.8	12.0	0.054	GC-88	10.6	13.0	0.054	GC-132	9.1	10.8	0.035
GT-37	9.2	11.2	0.041	GC-90	9.5	11.4	0.040	GC-133	13.0	14.0	0.086
GT-44	9.9	11.0	0.041	GC-92	11.7	12.8	0.065	GC-134	12.5	13.4	0.076
GT-154	11.9	13.0	0.074	GC-93	10.6	11.4	0.049				
GT-158	10.1	11.9	0.045	GC-95	12.3	12.9	0.074				
				GC-96	13.7	13.4	0.097				
				GC-97	11.0	12.9	0.059				

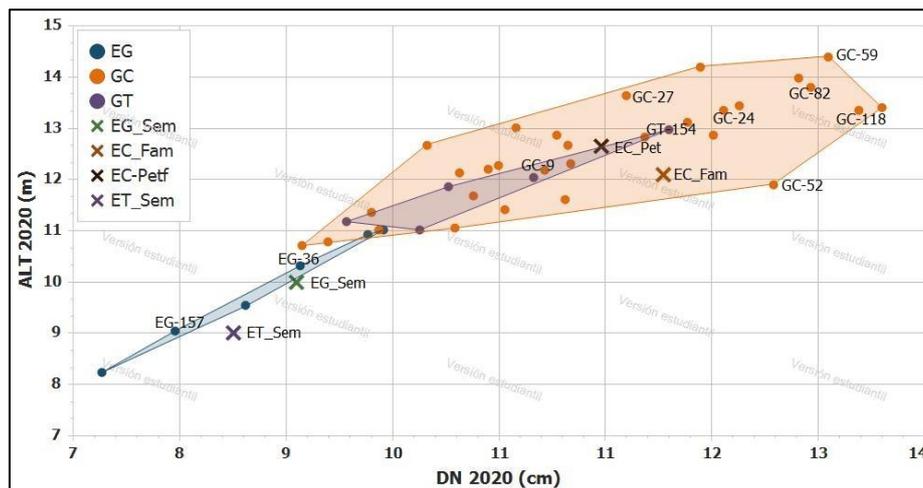


Gráfico 1. Promedio (valores genotípicos estimados) de diámetro normal (DN) y altura total (ALT) a los 5 años para todos los clones ensayados en Sáenz Peña (Chaco). Se agrupan los diferentes clones por grupo genético. Se identifican algunos materiales a modo ilustrativo.

Harrand et al. (2022) mencionan valores de crecimiento volumétrico para *E. grandis* de semilla (Huerto Semillero INTA-Concordia) variables según el sitio de plantación, con valores individuales de 0,035 m³ a los 3 años para el sitio menos productivo, pero de prácticamente el doble para otro sitio de mejores características edáficas, llegando a valores de 0,9 m³ a los 12 años de implantado, lo que equivale a 425 m³/ha de madera.

Von Wallis et al. (2020) para un ensayo en Gdor. Virasoro (Corrientes), señalan valores de DN de alrededor de 15 cm a los 36 meses para el clon EG-36, variando estos valores según el tratamiento de fertilización aplicado. López (2015) a los 30 meses de implantado menciona valores de 9,5 cm y 10,3 cm y alturas de 10,3 m y 10,1 m para los clones EG-36 y EG-157, respectivamente, en suelos vertisólicos de Corrientes.

Souza et al. (2023) en la provincia de Santa Fe, mencionan crecimientos al año de implantado de alrededor de 4 cm en diámetro y 4,5 m de altura para las mejores condiciones de preparación de sitio para los clones GC-8 y GC-9.

Fornés et al. (2023) para la Llanura Deprimida Salina (Leales, Tucumán) mencionan para los 5 años de implantado, dentro de los mejores materiales al clon GC-82, con un DN de 12,3 cm y ALT de 11,3 m y una sobrevivencia del 50 %; el clon comercial GC-27 presentó 50 % de sobrevivencia, 6 cm de DN y 6,3 m de altura.

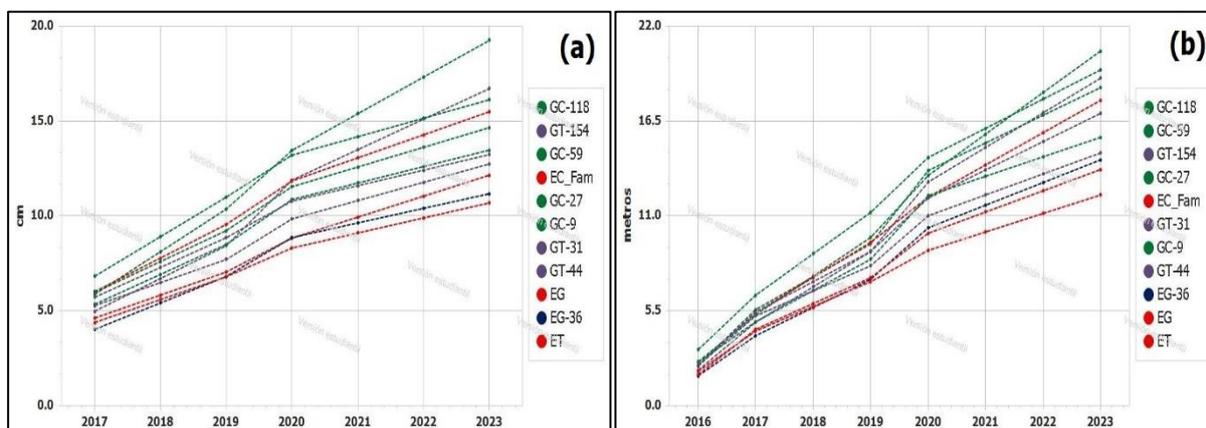


Gráfico 2. Incremento (valores genotípicos estimados) en diámetro normal (a) y altura total (b) para algunos materiales de eucalipto ensayados en Sáenz Peña (Chaco) hasta los 8 años de implantado. El orden en que figuran en la Leyenda es el que obtuvieron al último año de medición (2023).

En un ensayo ubicado en Ubajay (Entre Ríos) que sufrió severos daños por heladas a los 2,5 años, tanto los clones de GC como los de GT mostraron mayor DN y ALT que los clones de *E. grandis*, siendo los clones GC los que mostraron las mejores respuestas para ambas variables. Entre ellos, el mejor clon (GC-8) alcanzó 13,4 cm de DN y 13,4 m de ALT a los 3,5 años (Harrand y Oberschelp, 2016).

En Concepción del Uruguay (Entre Ríos) se mencionan valores de volumen individual al 6º año de 167, 198 y 217 dm³ para los clones GC-8, GC-9 y GC27; 210 dm³ para el clon GT-31 y de 185 y 204 dm³ para los clones EG-157 y EG-36 (López et al., 2016).

Todos estos resultados muestran que el crecimiento mostrado de los clones híbridos en Sáenz Peña es muy prometedor para el crecimiento de las forestaciones y sus industrias asociadas en la región. Sin embargo, es crucial conocer no solamente la producción volumétrica de madera de este tipo de plantaciones, sino también las características tecnológicas de ésta, y los productos asociados que podrían obtenerse (López et al., 2016).

4. CONCLUSIONES

Es promisoría la realización de forestaciones con clones de eucaliptos en la región de Sáenz Peña (Chaco). Los clones de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC) presentan un alto potencial de crecimiento.

Es necesario continuar con este tipo de evaluaciones en otros sitios de la región tanto con estos materiales como con la incorporación de otros nuevos. Es fundamental además considerar cual sería la utilización de estos materiales, y si se piensa en su industrialización, analizar el tipo de productos que se pueden obtener de su madera.

5. LITERATURA CITADA

AMBROGGIO, N., 2010. Implantación de bosques de eucaliptos en el Chaco. Dirección de Bosques de la Provincia del Chaco. Disponible en <http://direcciondebosques.blogspot.com/2010/09/hacia-la-implantacion-de-bosques-de.html> , consultado 29/07/2024.

ATANASIO, M.A, PERNOCHI, L.A.S., HARRAND, L. 2020. Severidad de daños causado por *Leptocybe invasa* y crecimiento inicial en clones híbridos de eucaliptos. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos, Argentina

ATANASIO, M.A, PERNOCHI, L.A.S., HARRAND, L. 2024. Clones de eucaliptos en la región de Sáenz Peña, Chaco. Parte 1: Respuesta a las heladas. XXXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos.



- FASSOLA, H.E.; CRECHI, E.H.; KELLER, A.E.; BARTH, S.R.; FERNANDEZ, T.E. 2007. Funciones y algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado. PAN 571 Región Mesopotámica, *Pinus elliotii* y *Eucalyptus grandis*, parcial para *Pinus taeda*. Informe técnico n° 61. INTA EEA Montecarlo. 103 p.
- FORNÉS, L., SARAVIA, P., ANGUEIRA, S.P., FEYLING MONTERO, M., HARRAND, L. 2023. Determinación de umbrales edáficos para la implantación de clones de especies e híbridos de *Eucalyptus* en la llanura deprimida salina, Tucumán-Argentina. En: VIII Congreso Forestal Latinoamericano - V Congreso Forestal Argentino. 27 al 30/03/2023. Mendoza, Argentina. pp. 729-731
- GAUNA, J.M., RAFFAELI, N., TONELLO, M.L., HARRAND, L.; MASTRANDREA, C.A., MARTÍNEZ, M.S., OBERSCHELP, G.P.J., BAROTTO A.J. 2022. Potencial de especies, clones puros e híbridos de eucaliptos para elaboración de carbón vegetal. XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Octubre 2022. Entre Ríos, Argentina.
- HARRAND, L. 2005. La utilización de híbridos interespecíficos como alternativa forestal. IDIA XXI. Año V. N°8: 171-174.
- HARRAND, L., OBERSCHELP, J. 2016. Responses of *Eucalyptus grandis* and interspecific hybrids clones to severe frosts in the Mesopotamian region of Argentina. En: 4th International Conference of the IUFRO WORKING PARTY 2.09.02. September 19-23, 2016. La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- HARRAND, L., OBERSCHELP, G.P.J., SALTO, C.S. 2022. Productividad de materiales comerciales de *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos, Argentina. XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Octubre 2022.
- HARRAND, L.; OBERSCHELP, J.; SALTO, C.; MARCÓ, M.; LÓPEZ, J.A. 2016. Ensayos clonales de especies e híbridos de *Eucalyptus*. Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. ISBN 978-897.1873-40-1:61-62. Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria. 1995. Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Grupo Forestal, EEA INTA Concordia. Entre Ríos, Argentina. 163 pp.
- LÓPEZ, A.J. 2015. Comportamiento de clones de *Eucalyptus grandis* del INTA en plantaciones en vertisoles del centro-sur de la provincia de Corrientes Argentina. Ciencia & Investigación Forestal, 21(1), 27–36. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2015.431>
- LÓPEZ, J.A., HARRAND, L., MARCÓ, M.A., LÓPEZ, A.J. 2016. Variación genética de clones híbridos de *Eucalyptus*. Quebracho (Santiago del Estero), 24(1), 5-6. Recuperado en 06 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30262016000100005&lng=es&tlng=es.
- MAGGIO, A.D., CANIZA, F.J., CELLINI, J.M.L, MARTINEZ-MEIER, A. 2022. Potencial dendroenergético de dos clones de *Eucalyptus* sp. en Corrientes, Argentina. Madera y bosques, 28(1), e2812268. Epub 05 de septiembre de 2022. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812268>
- MARTÍNEZ, M.S. 2022. Caracterización tecnológica de clones de eucalipto. Tesis. Universidad Nacional de Misiones, Área en Ciencias Forestales, Orientación en Silvicultura y Manejo Forestal. 118p.
- SOUZA, J.C.A.V. de, ACETTA, P.M., GROSSO, P., CEAGLIO, D., WEIS, G., CAMPERI, J., MOSCATELLI, L., CÓRDOBA, M., BENDER, A., LUNA, J.P., DÍAZ LEZCANO, M., CARDOZO, F. 2023. Evaluación de la implantación de distintos materiales genéticos de eucaliptos en suelos halomórficos. Actas del VIII Congreso Forestal Latinoamericano y V Congreso Forestal Argentino, Ciudad de Mendoza, 27 al 30 de marzo de 2023, p. 760-762
- SAGyP-Desarrollo Foresto Industrial. 2024. Tablero de Plantaciones Forestales. Datos actualizados a marzo de 2024. Disponible en <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/>. Verificado el 20/08/2024.
- SELEGEN-REML/BLUP. 2014. Sistema Estatístico e Seleccion Genética Computadorizada. Embrapa-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. INPI N° 00052763.
- VON WALLIS, A., GUARNASCHELLI, A.B., LUPI, A.M. 2020. Fertilización al establecimiento de clones de *Eucalyptus grandis* al norte de Corrientes. Respuesta a los 36 meses. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo "Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables" Corrientes, Argentina 13 al 16/10/2020. pp 646-651.



FORESTACIÓN CON CLONES HÍBRIDOS DE EUCALIPTO EN LA ZONA CENTRO-NORTE DE ENTRE RÍOS, ARGENTINA

Leonel HARRAND¹, G.P. Javier OBERSCHELP¹, Carla S. SALTO¹

RESUMEN

La especie principal en las forestaciones de Entre Ríos es *Eucalyptus grandis*, y por sus requerimientos edafoclimáticos, estas se ubican principalmente en la costa Este de la provincia. La ampliación de la frontera forestal hacia el centro de la provincia con esta especie presenta limitaciones por la presencia de suelos vertisólicos. La generación de clones híbridos interespecíficos (*E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. tereticornis*) posibilita la identificación de individuos que complementen características deseables de ambas especies parentales. Varios de estos materiales han demostrado una mayor tolerancia al frío que *E. grandis*. En el presente trabajo se evalúa la adaptación y crecimiento alcanzado por diferentes materiales clonales de eucaliptos híbridos en un período de 15 años en un sitio de la zona de Feliciano, centro-norte de la provincia de Entre Ríos. Este estudio presentó crecimientos de hasta 27 cm en diámetro y 25 m de altura para los mejores clones, con un 110 % más de producción volumétrica total (GC-5, 416 m³/ha) que el mejor clon de *E. grandis*, y presentado una variabilidad de respuesta frente a las heladas en favor de los clones *E. grandis* x *E. camaldulensis*.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. tereticornis*, heladas, crecimiento, vertisoles

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, las forestaciones con eucaliptos ocupan el segundo lugar en superficie implantada, luego de los pinos. En la provincia de Entre Ríos, los eucaliptos son el principal género, con 110.648 ha implantadas (SAGyP-DFI, 2024). La principal especie de este género utilizada en las forestaciones es *Eucalyptus grandis*, pero estas plantaciones se encuentran principalmente en la costa Este de la provincia por sus condiciones edafoclimáticas. La ampliación de la frontera forestal hacia el centro de la provincia con esta especie presenta restricciones con relación a la presencia de suelos vertisólicos, lo cual disminuye la tasa de crecimiento para esta especie (Marcó, 1988), y, en consecuencia, las plantas se encuentran con un tamaño de mayor susceptibilidad en el momento de ocurrencia de heladas. El programa de mejoramiento genético de eucaliptos de INTA viene seleccionando y clonando materiales superiores tanto de especies puras (en este caso *E. grandis*) como de híbridos interespecíficos tales como *E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. tereticornis*, entre otros (Harrand et al., 2016). Los clones híbridos interespecíficos de eucaliptos son generados con el propósito de reunir en una sola planta características deseables como: forma, densidad de madera, crecimiento, tolerancia a heladas, plagas y enfermedades (Harrand, 2005), y han demostrado en diferentes evaluaciones una mayor tolerancia al frío que *E. grandis* (Marcó y Harrand, 2005). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la adaptación y crecimiento alcanzado por diferentes materiales clonales de eucaliptos híbridos en un período de 15 años en un sitio del centro-norte de la provincia de Entre Ríos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se implantó el 18/10/2006 en la localidad de Las Mulitas (San José de Feliciano, Entre Ríos – Coord.: 30° 21' 05" S - 58° 59' 01" W) en un lote con historia agrícola (varios años de cultivo de arroz y maíz), con suelos caracterizados como Argiacuol vértico y Peluderte argudólico. El distanciamiento de plantación fue 4 m x 2,5 m. Se implantaron 18 clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), 8 clones

¹ INTA Estación Experimental Agropecuaria Concordia. harrand.leonel@inta.gob.ar, oberschelp.javier@inta.gob.ar, salto.carla@inta.gob.ar

E. grandis x *E. tereticornis* (GT), 2 clones *E. grandis* (EG) y testigo de semilla *E. grandis* (HSP INTA) y *E. tereticornis* (ET, origen Raymond Terrace, NSW). Se diseñó como un ensayo de bloques completos aleatorizados, en parcelas lineales de 5 plantas, con 4 repeticiones. En el invierno de 2007 el ensayo sufrió daños por la ocurrencia de heladas, y se realizó una evaluación de daños en 2 oportunidades (31 de julio y 10 de octubre), por medio de una escala de 1 (sin daño) a 5 (daño total). Luego de las evaluaciones, en octubre 2007 se realizó el recepe completo del ensayo para su homogeneización y posterior seguimiento.

El crecimiento del ensayo se realizó por mediciones dasométricas (Diámetro Normal -DN, cm- y Altura total -ALT, m-) y se utilizó una escala de 6 puntos para calificar la rectitud de las plantas (1: planta recta, 6, planta muy torcida). Las mediciones se realizaron en los años 2007, 2008, 2010, 2012 y 2021. En el año 2012, posterior a la medición, se realizó un raleo dirigido del 40 % de las plantas (se dejaron las mejores 3 de cada parcela). Con los valores de DN y ALT se calculó el volumen individual (VOL, en m³) utilizando la fórmula de Fassola et al. (2007), y con estos valores, el área basal y volumen total de madera por hectárea. Para la evaluación de los diferentes clones y la estimación de sus valores genotípicos se utilizó el Software Selegen-Reml/Blup - Modelo 2 (metodología de modelos mixtos, ensayos de clones con varias plantas por parcela). Con el mismo software, se calcularon también las correlaciones genéticas (r_o) entre las variables medidas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente, el ensayo sufrió pérdidas en algunas parcelas debido a una mala aplicación de herbicida (Oxifluorfen, post-plantación) y, por otro lado, a la deriva de herbicida de una aplicación aérea en el lote agrícola aledaño. Sin embargo, la situación general de implantación del ensayo se consideró muy buena. La sobrevivencia inicial, en todos los tratamientos, estuvo por encima del 90 %. Luego del recepe y rebrote de las plantas, solo el clon EG-157 perdió un 25 % de plantas; los restantes clones perdieron a lo sumo de una a dos plantas (5 -10 %).

Con respecto al daño por helada, en el primer año la respuesta fue diferente según el genotipo (clon) (Imagen 1), donde varios de los clones GC presentaron una mejor respuesta con valores promedios inferiores a 3 en la escala de clasificación utilizada. Entre las dos evaluaciones realizadas en 2007 en general ambas caracterizaron de igual manera a los clones, salvo algunas excepciones, donde en la primera evaluación no se detectaron daños en corteza que sí fueron observados posteriormente ($r_o = 0,74$) (Gráfico 1a). La relación entre el daño mostrado y la altura de la planta fue baja ($r_o = -0,33$), y tanto entre clones GC como GT hubo materiales con diferente nivel de daño con iguales alturas alcanzadas (Gráfico 1b).

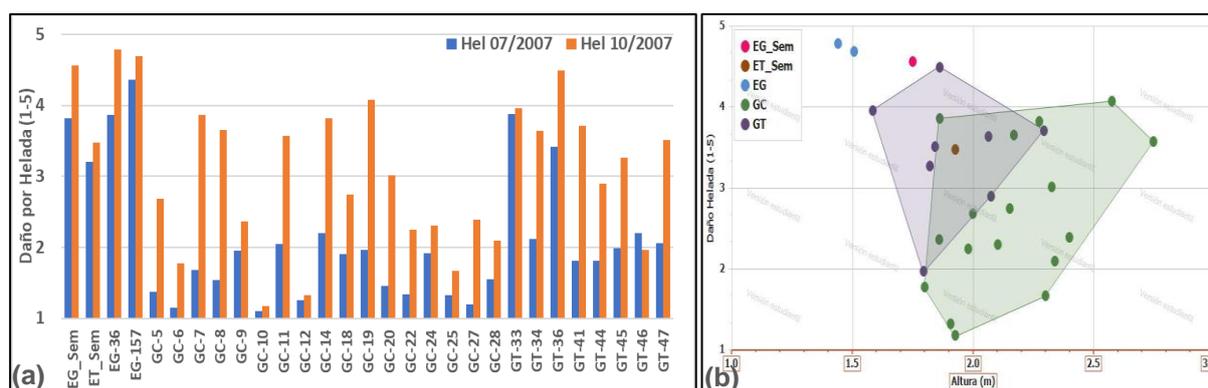


Gráfico 1. (a) Daño por Helada (escala 1: sin daño a 5: daño total de la planta) sobre diferentes clones híbridos de eucalipto, en un sitio implantado en Feliciano, Entre Ríos. Evaluaciones en dos momentos diferentes del mismo año. Valores promedio para cada tratamiento. (b) Daño por Helada (10/2007) vs. Altura total al año (m).

En un ensayo en el centro sur de la provincia de Buenos Aires, Laddaga y Milione (2019) señalan que los clones allí evaluados sufrieron las heladas ocurridas y que solo el clon DDX00078 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) mostró cierta tolerancia al frío.

El daño por helada sobre los árboles puede afectar en varios sentidos, el caso extremo es la muerte de esta planta, pero también reduce su copa activa lo que disminuye el crecimiento con relación a plantas menos afectadas, genera pérdida de dominancia apical, afecta la rectitud de los fustes y es vía de ingreso de patógenos que generan pudriciones en la madera (García y Mastrandrea, 2018).

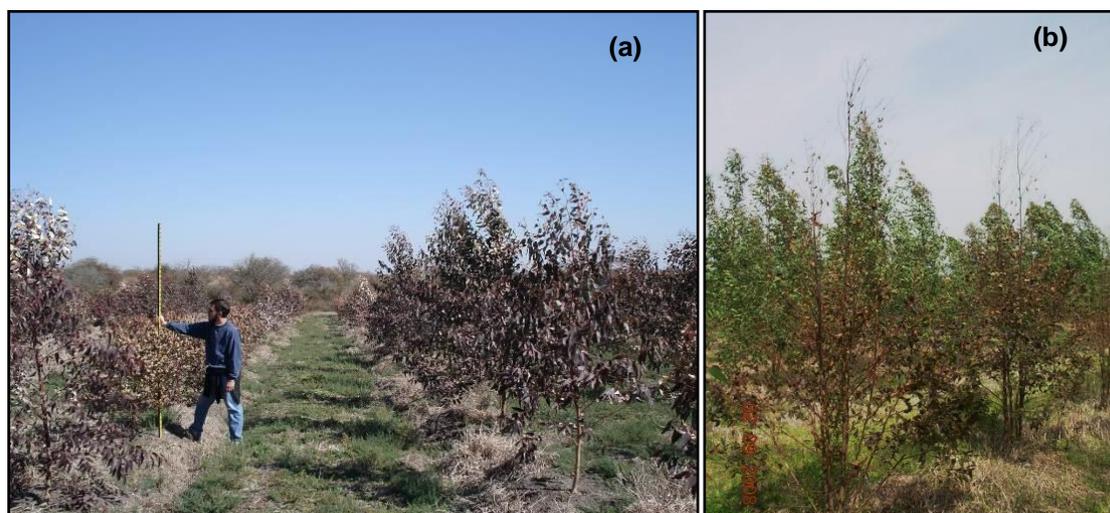


Imagen 1. Estado del lote luego de las heladas. (a) Julio/2007 (previo al recepe). (b) Septiembre/2008 (previo al manejo de rebrotes)

En el Cuadro 1 y Gráfico 2 se muestra el crecimiento presentado por los diferentes materiales genéticos en el ensayo en Feliciano. Los DN se presentaron entre 17,0 cm y 27,6 cm y ALT entre 18,9 m y 25,8 m. Se puede comprobar el buen desempeño logrado por los materiales híbridos, principalmente los clones GC, frente a los materiales puros de *E. grandis*, con un 110 % más de producción volumétrica total entre el clon GC-5 (mejor clon híbrido, 416 m³/ha) frente al clon EG-36 (mejor *E. grandis*, 198 m³/ha) a los 15 años de plantado.

Cuadro 1. Valores genotípicos estimados para diferentes materiales genéticos de eucalipto para diámetro normal (DN), altura total (ALT), volumen de fuste individual (VOL) y Rectitud (escala de 1 a 6, 1= recto, 6= muy torcido) a los 15 años, en un sitio implantado en Feliciano, Entre Ríos.

Clon	DN (cm)	ALT (m)	VOL (m ³)	Rectitud	Clon	DN (cm)	ALT (m)	VOL (m ³)	Rectitud
EG_Sem	20.2	21.9	0.346	3.8	GC-5	27.1	25.1	0.651	3.1
ET_Sem	18.3	21.2	0.264	3.8	GC-6	22.0	24.9	0.424	3.2
					GC-7	27.1	24.5	0.653	3.9
EG-36	18.4	20.4	0.267	4.3	GC-8	23.9	23.8	0.486	3.5
EG-157	17.0	18.9	0.220	2.5	GC-9	27.6	23.7	0.636	3.8
					GC-10	20.3	22.6	0.333	3.4
GT-33	21.8	23.1	0.397	2.3	GC-11	23.3	23.4	0.458	3.3
GT-34	22.4	23.0	0.426	3.4	GC-12	25.4	25.5	0.577	3.4
GT-36	23.0	24.8	0.470	2.2	GC-14	18.9	22.4	0.289	2.8
GT-41	20.0	24.5	0.348	2.3	GC-18	27.0	24.6	0.633	3.3
GT-44	18.8	20.7	0.270	2.6	GC-19	22.3	24.9	0.441	3.5
GT-45	18.3	23.8	0.290	2.8	GC-20	21.5	23.2	0.415	3.6
GT-46	20.1	23.8	0.365	2.9	GC-22	23.2	26.8	0.513	3.3
GT-47	21.5	22.9	0.379	3.6	GC-24	21.1	25.2	0.392	2.7
					GC-25	23.7	25.2	0.510	2.5
					GC-27	23.2	26.1	0.498	2.5
					GC-28	24.6	25.8	0.546	2.9

Souza et al. (2023) en la provincia de Santa Fe, mencionan crecimientos al año de implantado de alrededor de 4 cm en diámetro y 4,5 m de altura para las mejores condiciones de preparación de sitio para los clones GC-8 y GC-9 en un suelo del tipo halomórfico, superiores al material de *E. dunnii* colocado como referencia. Estos resultados muestran como los clones GC presentan un mejor desempeño en suelos con diferentes restricciones edáficas.

Para suelos vertisólicos de la provincia de Corrientes, López (2015) menciona crecimientos de 10,3 cm y 10,1 cm en DN y 9,5m y 10,3 m en ALT a los 3 años para los clones EG-36 y EG-157 respectivamente.



A los 6 años de plantado, Harrand et al. (2016) presentan valores de crecimiento individual de 0,23 m³, 0,22 m³ y 0,20 m³ para los híbridos GC-27, GC-8 y GC-9 respectivamente, en un sitio en Concepción del Uruguay (Entre Ríos). Para varios de los clones híbridos que se encuentran en este mismo trabajo, Harrand et al. (2012) presentan el crecimiento en un suelo arenoso de la costa del Río Uruguay, a los 8 años, con DN entre 15 y 20 cm y alturas entre 20 y 25 m, pero sin diferenciarse de los materiales EG.

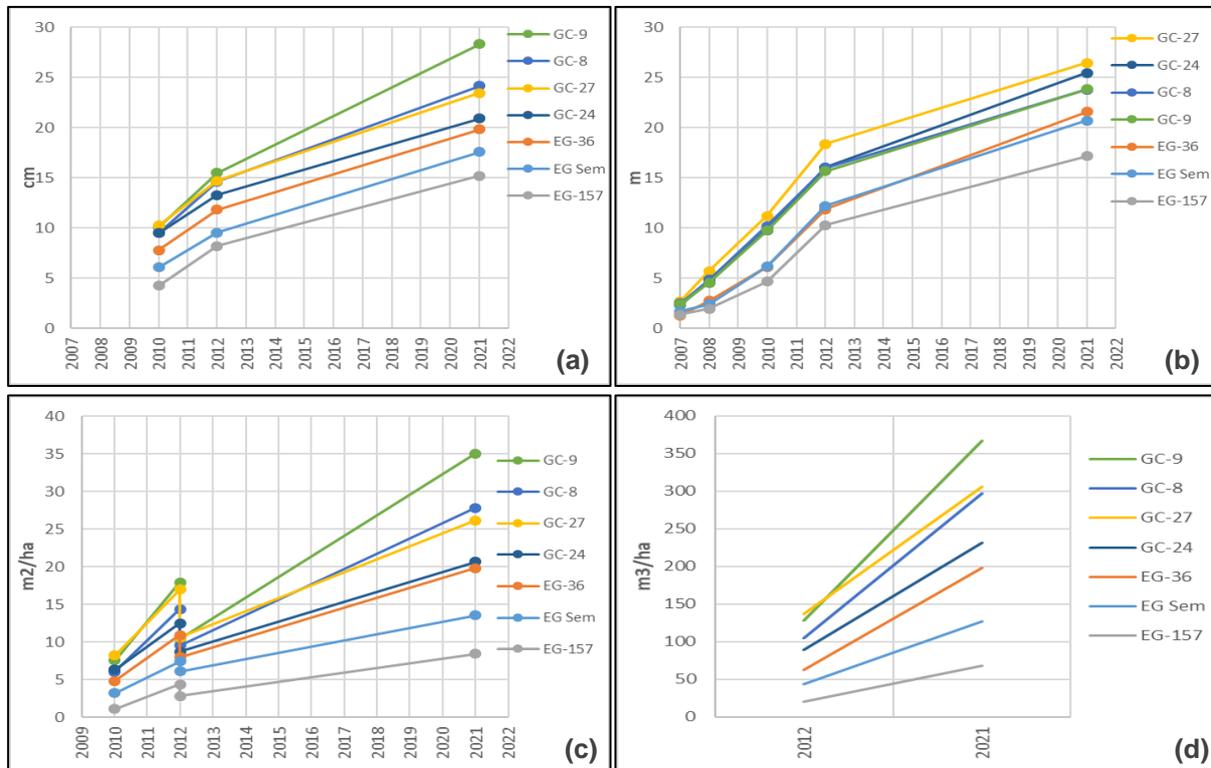


Gráfico 2. Perfil de incremento en diámetro normal (a), altura total (b), área basal (c) y volumen total por hectárea (d), para clones de eucalipto, en un sitio implantado en Feliciano, Entre Ríos. Se muestran solo algunos materiales de referencia presentes en el ensayo.

En lo que respecta a la rectitud de las plantas, en general los clones EG se caracterizan por presentar una mejor rectitud que los materiales híbridos, sin embargo, en esta evaluación se observó que solo el clon EG-157 muestra un valor relativamente bajo (buena rectitud general) (Cuadro 1), que se corresponde con evaluaciones realizadas en otros ensayos (Harrand et al., 2012, 2016; Marcó, 2005) y similar a algunos clones híbridos, mientras que EG-36 y EG_Sem se ubican dentro de los materiales de peor rectitud; este resultado obtenido en estos materiales EG se encuentra asociado a ciertas deformidades que se generaron con la afectación de heladas ocurridas en 2008, no tan intensas que las de 2007, pero que dañaron en cierto grado los ápices de algunas plantas. Analizando los valores obtenidos en los diferentes años de evaluación, se observa una alta correlación genética entre ellos ($r_{0_2010/2012} = 0,84$; $r_{0_2010/2021} = 0,71$) por lo que puede considerarse la rectitud observada en los primeros años como un buen indicador del comportamiento del clon al turno. Dentro de cada material, los valores genotípicos al turno son algo menores en la última evaluación que en las anteriores (dato no mostrado), algo completamente esperable luego de la realización del raleo, donde se dejan los mejores árboles (más grueso y mejor rectitud) en pie.

Con estos resultados obtenidos, es posible señalar que algunos materiales híbridos de eucalipto poseen un alto potencial de desarrollo volumétrico, muy superior a materiales de *E. grandis* en condiciones adversas para la especie pura, como lo son las encontradas en el centro-norte de la provincia de Entre Ríos, con suelos “pesados” y una alta probabilidad de ocurrencia de heladas. Varios de los clones aquí evaluados (GC-8, GC-9, GC-12, GC-24, GC-27), son materiales comerciales que se encuentran actualmente en algunos viveros de la región, por lo que pueden considerarse como una alternativa forestal real. Sin embargo, es necesario remarcar que la madera obtenida de este tipo de



materiales híbridos posee cualidades diferentes a la de *E. grandis* (Martínez, 2022), por lo que debe tenerse esta consideración en el momento de planificar un proyecto forestal.

4. CONCLUSIONES

La utilización de clones híbridos en la zona centro-norte de Entre Ríos como alternativa para generar núcleos forestales productivos es altamente factible.

Los clones híbridos GC presentaron mejor respuesta frente a las heladas que los otros materiales. El mejor clon híbrido (GC-5) alcanzó a los 15 años de plantado un diámetro normal de 27,1 cm una altura total de 25,1m y una productividad de 416 m³/ha. El mejor clon EG (EG-36) alcanzó a los 15 años un diámetro normal de 18,4 cm, una altura total de 20,4m y una productividad de 198 m³/ha.

5. LITERATURA CITADA

- FASSOLA, H.E.; CRECHI, E.H.; KELLER, A.E.; BARTH, S.R.; FERNANDEZ, T.E. 2007. Funciones y algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado. PAN 571 Región Mesopotámica, *Pinus elliotii* y *Eucalyptus grandis*, parcial para *Pinus taeda*. Informe técnico n° 61. INTA EEA Montecarlo. 103 p.
- GARCÍA, M.A.; MASTRANDREA, C.A. 2018. Defectos en madera de eucalipto asociados a daños por heladas en Entre Ríos, Argentina. *Madera y Bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431465>
- HARRAND, L. 2005. La utilización de híbridos interespecíficos como alternativa forestal. *IDIA XXI*. Año V. N°8: 171-174.
- HARRAND, L.; OBERSCHELP, J.; SALTO, C.; MARCÓ, M.; LÓPEZ, J.A. 2016. Ensayos clonales de especies e híbridos de *Eucalyptus*. Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. ISBN 978-897.1873-40-1:61-62.
- HARRAND, L.; SALTO, C.; MARCÓ, M.A. 2012. Ensayo clonal de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus*. En: Mejoramiento genético de pinos y eucaliptos subtropicales. López, et al. (eds.). EEA Concordia. Ed. INTA. 54-60
- LADDAGA J.E; MILIONE, G.M. 2019. Evaluación del daño por heladas en clones de *Eucalyptus* en el centro-sur de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Nexo Agropecuario*. Vol. 7 Núm. 2. pp 11-13
- LÓPEZ, A. J. 2015. Comportamiento de clones de *Eucalyptus grandis* del INTA en plantaciones en vertisoles del centro-sur de la provincia de Corrientes Argentina. *Ciencia & Investigación Forestal*, 21(1), 27–36. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2015.431>
- MARCÓ; M.A. 1988. Incidencia del origen de la semilla y el sitio en el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en el nordeste de Entre Ríos. III Jornadas Forestales de Entre Ríos. Entre Ríos, Argentina.
- MARCÓ; M.A. 2005. Subprograma Eucaliptos en Región Mesopotámica. En: Libro Mejores Árboles para Más Forestadores. Secretaría de Agricultura, Ganadería Pesca Y Alimentos. Argentina. pp: 57-71.
- MARCÓ, M y HARRAND, L. 2005. Valor potencial de los Eucaliptos colorados en combinaciones híbridas. En: I Jornada sobre potencialidad foresto-industrial del eucalipto en Santiago del Estero. Santiago del Estero, 16 y 17 de junio de 2005. <https://fcf.unse.edu.ar/eventos/1-jornadas-forestales/indx.htm>
- MARTÍNEZ, M.S. 2022. Caracterización tecnológica de clones de eucalipto. Tesis. Universidad Nacional de Misiones, Área en Ciencias Forestales, Orientación en Silvicultura y Manejo Forestal. 118p.
- SAGyP-Desarrollo Foresto Industrial, 2024. Tablero de Plantaciones Forestales. Datos actualizados a marzo de 2024. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php>
- SELEGEN-REML/BLUP. 2014. Sistema Estadístico e Selección Genética Computadorizada. Embrapa-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. INPI N° 00052763.
- SOUZA, J.C.A.V. de, ACETTA, P.M., GROSSO, P., CEAGLIO, D., WEIS, G., CAMPERI, J., MOSCATELLI, L., CÓRDOBA, M., BENDER, A., LUNA, J.P., DÍAZ LEZCANO, M., CARDOZO, F. 2023. Evaluación de la implantación de distintos materiales genéticos de eucaliptos en suelos halomórficos. Actas del VIII Congreso Forestal Latinoamericano y V Congreso Forestal Argentino, Ciudad de Mendoza, 27 al 30 de marzo de 2023, p. 760-762.



EFFECTO DE LAS HELADAS EN CLONES DE *Eucalyptus grandis* FERTILIZADOS AL ESTABLECIMIENTO

Alejandra VON WALLIS¹, Fidelina SILVA¹, Ana Beatriz GUARNASCHELLI², Ana María LUPI³

RESUMEN

El género *Eucalyptus* presenta más requerimientos edáficos y climáticos que el género *Pinus*, siendo sensible a las heladas, cuya incidencia depende en parte del estado nutricional de las plantas. Con el objetivo de evaluar la respuesta de la plantación a las heladas en un ensayo de fertilización inicial de clones de *E. grandis* con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), en suelos rojos del norte de las provincias de Misiones y Corrientes, se establecieron en Montecarlo, Misiones y Virasoro, Corrientes, dos ensayos factoriales de fertilización inicial con tres dosis de NPK y 5 clones, donde se evaluaron el daño por heladas en el follaje y el tallo de las plantas mediante una escala visual. En cuanto al daño por heladas al follaje y al tallo de los clones, EG1 INTA y EG 36 INTA presentaron los menores daños, mientras que los mayores daños se registraron en el clon DDT02155. Referido al efecto de la fertilización sobre la respuesta de la plantación a las heladas, no se dieron diferencias significativas entre las distintas combinaciones de NPK, pero se observó que los menores daños por heladas en follaje y tallo se dieron ante el agregado de combinaciones de NPK al suelo con la dosis más alta de P propuesta.

Palabras clave: *fertilización, bajas temperaturas, daños*

1. INTRODUCCIÓN

Del total de la superficie forestada en Argentina, alrededor de 344.625 ha corresponden al género *Eucalyptus*, lo que representa el 27 % del total de bosques implantados en el país. De esta superficie, cerca del 83 % se encuentra en la región NEA (Noreste Argentino). En la provincia de Misiones, la superficie con cultivo del género *Eucalyptus* asciende actualmente a 38.350 ha, mientras que en Corrientes alcanza 136.157 ha (MAGyP, 2024). Se tiene conocimiento de que *E. grandis* tiene mayores requerimientos edáficos y climáticos que las especies del género *Pinus*, presentando sus mayores rendimientos en suelos fértiles y profundos, ligeramente ácidos y sin salinidad, pero resulta muy sensible a las heladas, sobre todo en plantaciones jóvenes. El daño ocasionado por heladas a los cultivos forestales es un problema práctico de importancia en el manejo forestal (Josefek, 1989), cuya incidencia depende en gran medida del estado nutricional de las plantas, pues un desbalance podría alterar las propiedades y el gradiente osmótico de las membranas celulares. Existen antecedentes que muestran que el potasio (K) podría contribuir a la atenuación de los efectos y daños de las bajas temperaturas en esta especie. Se han encontrado correlaciones negativas significativas entre el daño por heladas y la concentración foliar de K. Es decir, un adecuado suministro de K puede efectivamente aumentar la resistencia a las heladas (Römheld y Kyrkby, 2010). Este género se destaca por sus altas tasas de crecimiento, superiores a 40 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para los mejores suelos de Corrientes (Aparicio et al., 1995), y para alcanzar dicha productividad presentan elevadas demandas nutricionales. Un buen crecimiento de arranque de la plantación permitiría a las plantas sobrellevar en mejores condiciones los efectos de posibles heladas. Este estudio plantea evaluar la respuesta a las heladas de clones de *E. grandis* fertilizados con distintas dosis de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), en suelos rojos del norte de las provincias de Misiones y Corrientes.

¹ INTA EEA Montecarlo- vonwallis.alejandra@inta.gob.ar / silva.fidelina@inta.gob.ar

² Facultad de Agronomía, UBA - guarnasc@agro.uba.ar

³ Instituto de Suelos, INTA Castelar – lupi.ana@inta.gob.ar



2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2016 se instalaron dos ensayos idénticos de fertilización inicial de cinco clones de *E. grandis*, uno en Montecarlo, Misiones (26° 35' 46" S; 54° 44' 41" O) y el otro en Colonia Unión, Gobernador Virasoro, Corrientes (28° 05' 06" S; 55° 48' 47" O). El ensayo de Montecarlo se encuentra sobre un suelo rojo perteneciente al gran grupo de los Kandiuultes y Kandiudalfes. Son profundos, arcillosos, bien drenados y sumamente ácidos, con pendientes medias del 3 al 5 %. El clima de la zona es cálido y húmedo, con una precipitación media anual de 1865 mm, con una distribución del tipo isohigro. La temperatura media del mes más cálido y del más frío es de 26,4 °C y 15,9 °C respectivamente, con una mínima absoluta de -5,6 °C (julio). El balance hídrico es positivo para todos los meses del año (Silva et al., 2019). El ensayo de Gobernador Virasoro se ubica sobre un suelo rojo, arcilloso, profundo y bien drenado, con pendientes medias de 3 a 5 %, perteneciente al gran grupo de los Kandihumultes y Kandiudalfes. El clima de la zona es subtropical, cálido en verano, pero con probabilidad de heladas en invierno. Tiene características de clima húmedo, con frecuentes excesos hídricos en otoño y primavera, y moderados y eventuales déficit, principalmente en verano. La temperatura media anual es de 20,5 °C. Los inviernos son templados-fríos, entre los 7 y 20 °C, aunque puede haber temperaturas de hasta -4 °C. Las precipitaciones rondan los 1.500 mm anuales (Ministerio de Producción, 2019).

La plantación se realizó en forma manual en la primavera de 2016 y se fertilizó 3 meses después, a aproximadamente 30 cm del cuello de las plantas, a ambos lados e incorporado al suelo con azada para evitar la volatilización. Se plantaron 5 clones comerciales de *E. grandis*: 1-Clon EG1 INTA, 2-Clon EG36 INTA, 3-Clon EG152 INTA, 4-Clon FTSA A-130-96 Forestadora Tapebicuá S.A. y 5-Clon DDT02155 Pomera Maderas. La distancia de plantación fue de 4 m entre plantas y 2,5 m entre líneas. Los ensayos presentaron un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo factorial de los tratamientos, que resultaron de la combinación de tres dosis de N (0, 45 y 90 g/planta) aplicado en forma de urea, tres dosis de P (0, 90 y 180g/planta) aplicado en forma de superfosfato triple de calcio y tres dosis de K (0, 50 y 100 g/planta) aplicado en forma de cloruro de potasio, totalizando 27 tratamientos (Cuadro 1).

En el invierno de 2017 se registraron fuertes heladas que afectaron los ensayos: en Montecarlo mínimas de -1,5 °C (18/07/2017) y en Virasoro mínimas de -3,3 °C (19/07/2017). En septiembre de 2017 se evaluó el daño por helada de las plantas utilizando una escala visual de 0 a 5, tanto para el daño foliar como para el daño en el tallo iniciando las observaciones por el ápice de las plantas, donde 0 indica planta sin daños, 1: menos del 25 % del follaje/tallo dañado, 2: entre 25 y 50 % del follaje/tallo dañado, 3: entre 50 y 75 % del follaje/tallo dañado, 4: más del 75 % del follaje/talle dañado y 5: 100 % del follaje/tallo dañado.

Cuadro 1. Tratamientos según dosis de nutrientes a aplicar.

Trata- miento	Urea (g.pl ⁻¹)	SFT (g.pl ⁻¹)	KCl (g.pl ⁻¹)	Trata- miento	Urea (g.pl ⁻¹)	SFT (g.pl ⁻¹)	KCl (g.pl ⁻¹)	Trata- miento	Urea (g.pl ⁻¹)	SFT (g.pl ⁻¹)	KCl (g.pl ⁻¹)
1	0	0	0	10	45	0	0	19	90	0	0
2	0	0	50	11	45	0	50	20	90	0	50
3	0	0	100	12	45	0	100	21	90	0	100
4	0	90	0	13	45	90	0	22	90	90	0
5	0	90	50	14	45	90	50	23	90	90	50
6	0	90	100	15	45	90	100	24	90	90	100
7	0	180	0	16	45	180	0	25	90	180	0
8	0	180	50	17	45	180	50	26	90	180	50
9	0	180	100	18	45	180	100	27	90	180	100

SFT: superfosfato triple de calcio; KCl: Cloruro de Potasio

Las variables respuestas consideradas fueron: daño foliar promedio y daño en tallo promedio. Con los datos tomados, se procedió a realizar pruebas de supuesto de normalidad y homogeneidad de variancias a partir de las pruebas de Shapiro-Wilks modificada y la prueba de Levene con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2018). Visto el no cumplimiento de los datos se procedió a utilizar la técnica no paramétrica ART (Aligned Rank Transform, por sus siglas en inglés) (Wobbrock et al., 2011). Los datos fueron procesados en el software R utilizando los paquetes ART y ARTool. La técnica ART permite realizar un ANOVA tradicional (aunque no es paramétrico) sobre datos rankeados y la ventaja



principal es la posibilidad de evaluar la interacción entre factores. Para las comparaciones múltiples se utilizó la prueba de Tukey incluida como función de ART y ARTool.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Realizadas las pruebas sobre los supuestos de normalidad y homocedasticidad, en ambos ensayos las variables daño foliar y daño en tallo no cumplieron con los supuestos, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 2.

Con motivo de procesar los datos con ANOVA paramétrico se probaron varias transformaciones de los datos, pero ninguna de ellas ajustó a una distribución normal, por lo cual se resolvió el uso de una técnica no paramétrica para la evaluación de los factores en estudio mediante la técnica ART.

Cuadro 2. Resultados de las pruebas de supuestos de normalidad y homocedasticidad.

Variable	Valor de p			
	Montecarlo		Virasoro	
	Prueba de Shapiro-Wilks	Prueba de Levene	Prueba de Shapiro-Wilks	Prueba de Levene
Daño foliar	<0,0001	0,838	<0,0001	<0,0001
Daño en tallo	<0,0001	0,4391	<0,0001	<0,0001

ART hace un análisis como modelo mixto donde el bloque es el factor aleatorio, de esta manera las fuentes de variación que se evaluaron fueron tratamientos (combinación de dosis de fertilizantes), clones de eucalipto y la interacción de estos dos factores.

En ambos ensayos, las diferencias en los factores clon y tratamiento fueron altamente significativos, no así para la interacción clon-tratamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del análisis de variancia no paramétrico para las variables daño foliar y daño en tallo para ambos ensayos evaluados.

Fuente de variación	Montecarlo		Virasoro	
	Valor de F	Valor de p	Valor de F	Valor de p
Variable daño foliar				
Tratamiento	2,11	0,0013311 **	2,405	0,00031173***
Clon	13,10	4,85E-10 ***	***	1,25E-09***
Clon x Tratamiento	0,68	0,9892678	0,653	0,99
Variable daño tallo				
Tratamiento	2,15	1,04e-3 **	2,40	1,8***
Clon	24,47	< 2,22e-16 ***	24,028	< 2,22e-16 ***
Clon x tratamiento	0,77	0,9480520	0,705	0,98

Referencias: **) Diferencia significativa a 0,01; ***) diferencia significativa a 0,001

Para el efecto del factor clon sobre el daño foliar, en Montecarlo, se encontraron diferencias significativas entre EG1, con el menor daño foliar y los clones EG152, T130 y P2155, éste último con el mayor daño foliar por heladas ($p < 0,0001$). Para Virasoro EG36 y EG1 se diferencian entre todos los clones, mientras que P2155, EG152 y T130 no presentaron diferencias (Cuadro 4 y Gráfico 2). Allí, el menor daño foliar se dio para el clon EG36 mientras que el mayor daño en el EG152.

Cuadro 4. Resultados de las comparaciones múltiples entre medias daño foliar y de tallo de clones de eucalipto en Montecarlo (Misiones) y Virasoro (Corrientes).

Clon	Daño foliar		Daño de tallo	
	Montecarlo	Virasoro	Montecarlo	Virasoro
P2155	3,49 a	2,09 a	2,91 a	1,24 a
EG152	3,01 b	2,19 a	2,47 ab	1,58 a
T130	2,89 bc	1,98 a	2,32 b	1,52 a
EG36	2,60 cd	1,33 c	2,26 bc	0,75 b
EG1	2,31 d	1,66 b	1,94 c	1,16 bc

Para el efecto del factor clon sobre el daño por heladas producido sobre el tallo, en Montecarlo se encontraron diferencias significativas entre los clones P2155 con el mayor daño por heladas y EG1 con el menor daño ($p = 0,0011$, $p = 0,00296$, respectivamente). Para Virasoro, se encontró que EG36 se diferenció de todos los clones, observándose el menor daño en tallo (Cuadro 4 y Gráfico 2). Respecto

del efecto de las heladas sobre los clones, Guarnaschelli et al. (2017) obtuvieron resultados similares cuando evaluaron daños por helada en estos mismos clones en Entre Ríos.

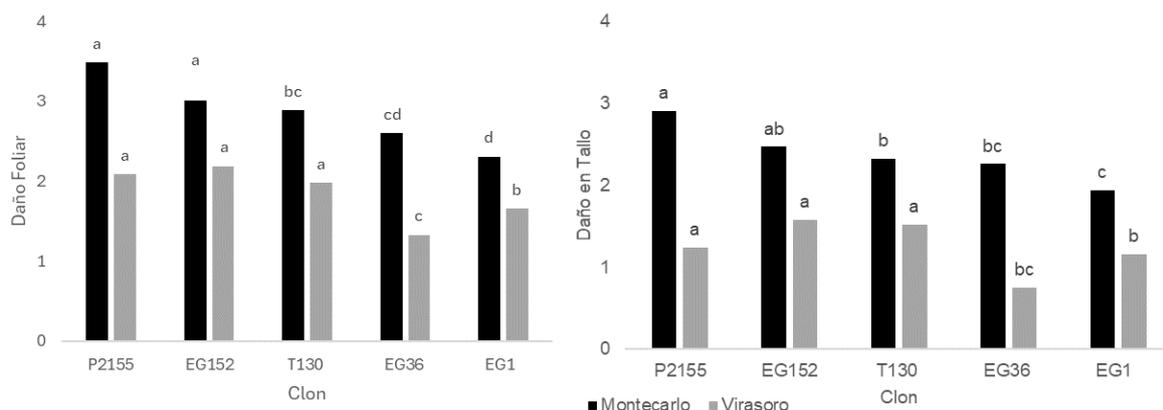


Gráfico 2. Daño foliar y en tallo por clon de *Eucalyptus grandis* en ensayo de Montecarlo y Virasoro. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre clones en un mismo sitio.

Referido a la respuesta del daño por heladas a cada tratamiento de fertilización, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre algunos tratamientos. Para Montecarlo, hay diferencias significativas entre T26 y T3 con el menor y el mayor daño foliar respectivamente y entre T11 y T18 con el menor y mayor daño en tallo (Gráficos 3). En Virasoro, en tanto, se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos T18 y T10 con el menor y mayor daño foliar y entre T9 y T10 con el menor y mayor daño en tallo respectivamente (Gráfico 4). En todos los tratamientos que presentaron menores daños por las heladas, la dosis de P fue la más alta que se probó (180 g/planta). El efecto beneficioso de la aplicación de K que mencionan Römheld y Kyrkby (2010), no fue detectado en este estudio, ya que incluso T3, con solo 100 g/planta de K, presentó los mayores daños foliares en Montecarlo. Si se observa la escala de daños entre ambos ensayos, los mayores daños causados por heladas se dieron en Montecarlo, lo que puede deberse a que, en días previos a las heladas, las temperaturas máximas estaban en el orden de los 28°C y es de suponer que las plantas se encontraban en crecimiento.

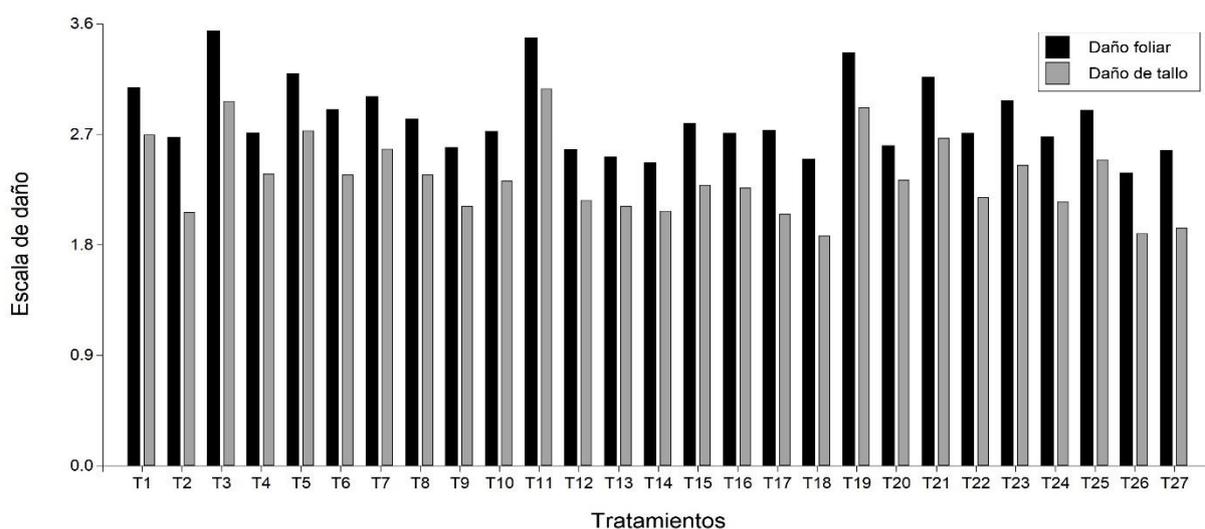


Gráfico 3. Daño foliar y de tallo por heladas en ensayo de fertilización de *Eucalyptus grandis* en Montecarlo

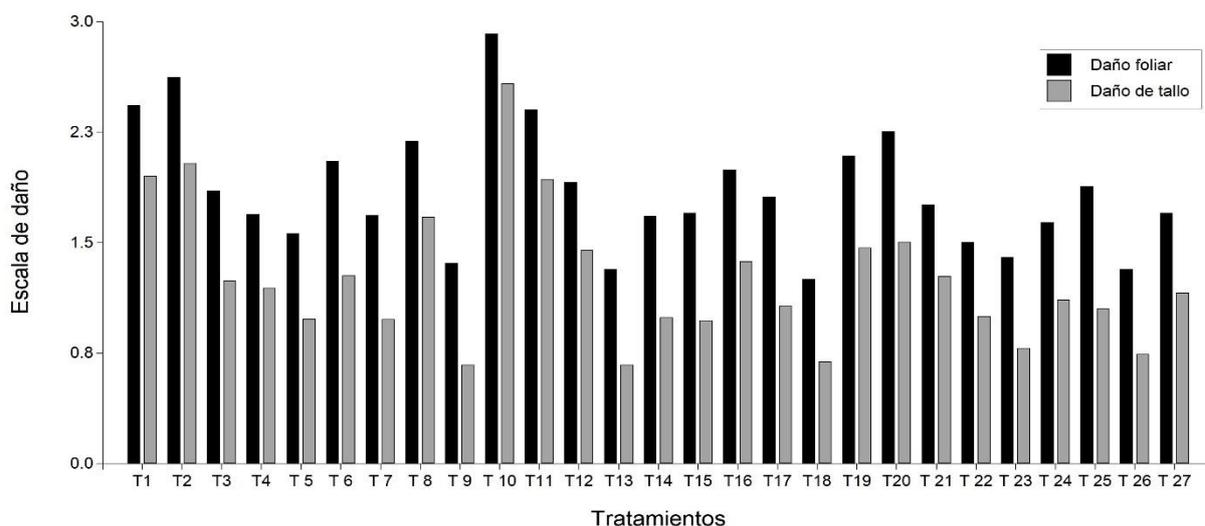


Gráfico 4. Daño foliar y de tallo por heladas en ensayo de fertilización de *Eucalyptus grandis* en Virasoro

4. CONCLUSIONES

Al considerar los cinco clones evaluados, los menores daños por helada, tanto en el follaje como en el tallo de las plantas se dieron en los clones EG1 INTA y EG 36 INTA, mientras que los mayores daños se registraron para el clon DDT02155 Pomera Maderas.

Respecto de la respuesta a las heladas de clones de *E. grandis* fertilizados con distintas dosis de NPK, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre algunos de los tratamientos, donde los menores daños al follaje y al tallo de las plantas se dieron ante al agregado de distintas combinaciones de N, P y K al suelo, siendo en todas las combinaciones, la dosis de P, las más alta probada.

No se detectó un efecto positivo de la aplicación de K como posible medida de protección de las plantas ante los daños por heladas.

5. LITERATURA CITADA

- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- GUARNASCHELLI, A.B.; LUPI, A.M.; OBERSCHELP G.P.J. 2017. Fertilización inicial en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en suelos arenosos: crecimiento, supervivencia y tolerancia a heladas. Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Octubre 2017.
- JOSEFEK, H.J. 1989. "The effect of varying levels of potassium on the frost resistance of birch seedlings". *Silva Fennica* 23 (1): 21-31.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. (29 de julio de 2024). Tableros de plantaciones forestales. Ministerio de economía de la República Argentina. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php>
- MINISTERIO DE PRODUCCIÓN. 2019. Plan de gestión integral del riesgo agropecuario de la provincia de Corrientes. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/girsar-corrientes-ppgira.pdf>
- RÖMHELD, V.; KIRKBY, E.A. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant and Soil* 335: 155-180.
- SILVA, F; HABERLE, T; MULLER, H; MÜNZ, R; VISENTINI, J.M. 2019. Normales del clima de la región de Montecarlo. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales 2019. Eldorado, Misiones
- WOBBROCK, J.O.; FINDLATER, L.; GERGLE, D.; HIGGINS, J.J. 2011. The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 143-146).



FUNCIONES DE ALTURA, VOLUMEN Y FORMA PARA *Pino híbrido F2* CULTIVADO EN LA ZONA NOROESTE DE MISIONES, ARGENTINA

Aldo KELLER¹

RESUMEN

Para estimar el volumen de madera de las plantaciones forestales es necesario desarrollar ecuaciones a partir de variables de fácil medición. A partir de datos de árboles provenientes de plantaciones comerciales y ensayos de Pino híbrido F2 (*Pinus elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* F2) en los departamentos de Iguazú y Eldorado, Misiones, se ajustaron ecuaciones para la estimación de altura total, volumen total del fuste con y sin corteza, y ecuaciones de perfil de fuste para estimar diámetros del fuste y volúmenes acumulados a cualquier altura del mismo. Se usaron datos de 103 árboles, de 5 a 27 años y de 11,2 cm a 72 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). De cada árbol se midió el DAP, la altura total y los diámetros con y sin corteza a distintas alturas de corte del fuste. En una primera etapa se seleccionaron y ajustaron modelos clásicos de altura, volumen y forma. Luego, en base a estadísticos de bondad de ajuste y al análisis de los gráficos de dispersión de residuos se seleccionaron los mejores modelos para estimar cada variable. Para la estimación de la altura se seleccionó el modelo de Curtis, para estimar el volumen total con corteza (vcc) el modelo de Prodan, y para el volumen sin corteza se ajustó un modelo por regresión lineal simple respecto del vcc. Para estimar diámetros y volúmenes parciales con corteza se seleccionaron modelos de exponente variable (Bi dcc y Bi vacc, respectivamente).

Palabras clave: *plantaciones forestales, inventario, volumetría, ecuaciones.*

1. INTRODUCCIÓN

El Pino híbrido F2, de procedencia mayormente australiana, se planta en Misiones y Corrientes desde inicios de la década de 1990. Considerando que las plantaciones forestales se desarrollan, en general, en ciclos de producción superiores a los 10 años, es necesario realizar estimaciones del volumen de madera existente en diferentes momentos del ciclo. Existen ya varios antecedentes de desarrollos similares en la región, pero para determinadas situaciones productivas los modelos anteriores resultan inadecuados, sea porque se alcancen edades y/o tamaños de árboles fuera del rango de datos que dieron origen a esos modelos, aumentando los errores de estimación.

Los modelos de estimación de altura, conocidos como relaciones hipsométricas, se ajustan para poder estimar luego con mayor precisión el volumen, ya que, en general, con los modelos de volumen (basados en el DAP y la altura del árbol) se obtienen mejores estimaciones. Por otra parte, los modelos de forma o de perfil de fuste representan el ahusamiento o la variación del diámetro del tronco a lo largo del mismo. Generalmente lo hacen a partir del DAP, la altura total del árbol y la altura a la cual se desea realizar la estimación (hc). Estos modelos constituyen una importante herramienta para estimar el volumen de las trozas, y por extensión, el volumen de productos para diferentes destinos industriales.

En la región existen antecedentes de trabajos similares desarrollados para las principales especies forestales cultivadas, como los trabajos en *Araucaria angustifolia* (Friedl et al., 1992; Keller et al., 2014), en *Pinus caribaea* var. *caribaea* (Ferrere et al., 2001), en *Pinus taeda* (Costas et al., 2003, Crechi et al., 2006), en *Grevillea robusta* (Crechi et al., 2004) y en *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y *Eucalyptus grandis* (Fassola et al., 2006), entre otros, mientras que para el Pino híbrido F2 se cuenta con los trabajos de Kubsch et al. (2005), Costas et al. (2006) y Keller y Crechi (2015).

¹ Investigador Grupo Forestal INTA EEA Montecarlo. Av. El Libertador 2472 (3384) Montecarlo, Misiones. keller.aldo@inta.gob.ar
;Tel 54-03751-480512



El objetivo de este trabajo fue ajustar funciones para la estimación de altura total, volumen y forma de Pino híbrido F2 a partir de la ampliación de la base de datos utilizada en trabajo publicado en el año 2015.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La base de datos cuenta con 103 árboles de 5 a 27 años y DAP de 11 a 72 cm, provenientes de ensayos y plantaciones comerciales con densidades iniciales de 2500 plantas por hectárea o menores, sometidos a podas y raleos según el criterio de manejo aplicado a cada caso. Los árboles se seleccionaron tratando de abarcar todo el rango diamétrico observado en cada lote o situación muestreada.

El volumen de cada troza se calculó con la fórmula de Smalian, mientras que para estimar el volumen desde el último corte comercial hasta el ápice se utilizó la fórmula de volumen del cono. Los volúmenes totales con corteza y sin corteza se obtuvieron por sumatoria de los volúmenes de todas las trozas obtenidas de cada árbol. El volumen del tocón no fue considerado.

Para ajustar una relación hipsométrica se ajustaron 7 modelos de simple y doble entrada que permiten estimar la altura total de los árboles con el DAP y la edad como variables predictoras. En el Cuadro 1 se presentan los modelos ajustados.

Cuadro 1. Modelos ajustados para la estimación de la altura total de árboles de pino híbrido F2 cultivados en la zona noroeste de la provincia de Misiones, Argentina.

Modelo	Denominación	Función
1	Lineal simple	$h = b_0 + b_1 \cdot dap$
2	Gompertz	$h = b_0 \cdot \exp(-b_1 \cdot \exp(-b_2 \cdot dap))$
3	Richards	$h = b_0 / (1 + b_1 \cdot \exp(-b_2 \cdot dap))^{(1/b_3)}$
4	Logarítmico	$h = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$
5	Curtis	$\ln h = b_0 + b_1 / dap + b_2 / e + b_3 / (dap \cdot e)$
6	Lineal múltiple I	$h = b_0 + b_1 \cdot e + b_2 \cdot dap + b_3 \cdot e^2 + b_4 \cdot dap^2 + b_5 \cdot dap \cdot e$
7	Cuadrático	$h = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot dap^2$

Referencias: h: altura total (m); dap: diámetro a la altura del pecho (cm); e: edad (años); b: coeficientes del modelo; ln: logaritmo natural.

Luego se ajustaron 18 modelos de simple y doble entrada con el DAP y la altura total como variables predictoras del volumen total con corteza (Cuadro 2). Para estimar el volumen total sin corteza (vsc) se ajustaron varios modelos por regresión lineal simple en función del volumen total con corteza (vcc).

Cuadro 2. Modelos ajustados para la estimación del volumen total con corteza de árboles de pino híbrido F2 cultivado en la zona noroeste de la provincia de Misiones, Argentina.

Modelo	Denominación	Función
1	Brenac1	$\ln vcc = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 / dap$
2	Prodan	$\ln vcc = b_0 + b_1 \cdot \ln dap + b_2 \cdot \ln^2 dap + b_3 \cdot \ln h + b_4 \cdot \ln^2 h$
3	Prodan modificado	$\ln vcc = b_0 + b_1 \cdot \ln dap + b_2 \cdot \ln^2 dap + b_3 \cdot \ln^2 h$
4	Schumacher - Hall	$\ln vcc = b_0 + b_1 \cdot \ln dap + b_2 \cdot \ln h$
5	Spurr ₁	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap^2 \cdot h$
6	Spurr ₂	$\ln vcc = b_0 + b_1 \cdot \ln(dap^2 \cdot h)$
7	Stoate	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap^2 + b_2 \cdot dap^2 \cdot h + b_3 \cdot h$
8	Ogaya	$vcc = dap^2 \cdot (b_0 + b_1 \cdot h)$
9	Naslund	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap^2 + b_2 \cdot dap^2 \cdot h + b_3 \cdot dap \cdot h^2 + b_4 \cdot h^2$
10	Meyer	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot dap^2 + b_3 \cdot dap \cdot h + b_4 \cdot dap^2 \cdot h$
11	Meyer modificada	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot dap^2 + b_3 \cdot dap \cdot h + b_4 \cdot dap^2 \cdot h + b_5 \cdot h$
12	Kopezky-Gehrhard	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap^2$
13	Dissescu-Meyer	$vcc = b_0 \cdot dap + b_1 \cdot dap^2$
14	Hohenadl-Krenn	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot dap^2$
15	Huso	$vcc = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$
16	Spurr cuadr.	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap^2 \cdot h + b_2 \cdot (dap^2 \cdot h)^2$
17	Spurr cub.	$vcc = b_0 + b_1 \cdot dap^2 \cdot h + b_2 \cdot (dap^2 \cdot h)^2 + b_3 \cdot (dap^2 \cdot h)^3$
18	N/D	$\ln vcc = b_0 + b_1 \cdot \ln dap + b_2 / \ln dap$

Referencias: vcc: volumen total del fuste con corteza (m³); dap: diámetro a la altura del pecho (cm); h: altura total del árbol (m); b: coeficientes del modelo; ln: logaritmo natural.



El Cuadro 3 muestra los modelos ajustados para la estimación de diámetros y volúmenes acumulados a diferentes alturas los que se mencionan en Keller et al. (2013) y Scharma et al. (2001).

Cuadro 3. Modelos ajustados para estimar diámetros y volúmenes acumulados hasta diferentes alturas en árboles de pino híbrido F2 cultivados en la zona noroeste de la provincia de Misiones, Argentina.

Modelo	Nombre	Ecuación
1	Bi dcc	$dcc = (((\ln(\text{seno}(\pi/2*(hc/h)))/\ln(\text{seno}(\pi/2*(1,3/h))))^{(b_0+(b_1*\text{seno}(\pi/2*(hc/h)))+(b_2*\text{coseno}(3*\pi/2*(hc/h)))+(b_3*\text{seno}(\pi/2*(hc/h))/(hc/h))+(b_4*dap)+(b_5*(hc/h)*(dap^{0.5})))+(b_6*(hc/h)*(b^{0.5})))*dap)$
2	Pol5 dcc	$dcc/dap = b_0 + b_1*(hc/h) + b_2*(hc/h)^2 + b_3*(hc/h)^3 + b_4*(hc/h)^4 + b_5*(hc/h)^5$
3	Kozak	$dcc = dap*(b_0*((hc/h)-1)+b_1*((hc/h)^2-1))^{0.5}$
4	Scharma	$dcc = (dap^2*((hc/1,3)^{(2-b_0)}*((h-hc)/(h-1,3)))^{0.5}$
5	Bi vacc	$vacc = ((\text{seno}(\pi/2*(hc/h)))^{b_0}*(\text{seno}(\pi/2*((hc/h)^{0.5})))^{b_1}*(\text{seno}(\pi/2*((hc/h)^{(1/3)})))^{b_2}*(\text{seno}(\pi/2*((hc/h)^{0.25})))^{b_3})*vcc$
6	AmBur vacc d	$vacc = vcc*(1+b_0*(dcc^{b_1}/(dap/100)^{b_2}))$
7	AmBur vacc h	$vacc = vcc*(1+b_0*((h-hc)^{b_1}/h^{b_2}))$

Referencias: dcc: diámetro con corteza a la altura considerada (cm); hc: altura de corte considerada (m); vacc: volumen acumulado hasta la altura considerada (m³); vcc: volumen total del fuste con corteza (m³); dap: diámetro a la altura del pecho (cm); h: altura total del árbol (m); b_i: coeficientes del modelo; ln: logaritmo natural.

La evaluación de los modelos se realizó a partir del análisis de indicadores estadísticos, como el Coeficiente de determinación ajustado (R²_{aj}), Error estándar de estimación (s_{yx}), el Coeficiente de variación porcentual (CV%), entre otros. La selección de los mejores modelos se realizó a partir del R²_{aj}, el error de estimación (s_{yx}) y el análisis gráfico de los residuos. En aquellos modelos con transformación logarítmica de las variables dependientes se calculó el factor de corrección de la discrepancia logarítmica, utilizando la fórmula propuesta por Meyer en 1941.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a los indicadores de ajuste numéricos y gráficos se seleccionaron los mejores modelos para la estimación de las diferentes variables. Los modelos seleccionados, sus fórmulas de trabajo, sus estadísticos R²_{aj} y error promedio de estimación (%) se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Modelos seleccionados para estimar alturas, diámetros y volúmenes a diferentes alturas y volumen total de árboles de pino híbrido F2 cultivado en la zona noroeste de Misiones, Argentina.

Variable	Modelo	Fórmula de trabajo	R ² _{aj} %	Error %
h	Curtis	$h = \exp(3,83154 - 7,71282/dap - 5,13251/e - 8,11564/(dap*e))$	95,88	0,3
dcc	Bi dcc	$dcc = (((\ln(\text{seno}(\pi/2*(hc/h)))/\ln(\text{seno}(\pi/2*(1,3/h))))^{(2,0173+(-0,379169*\text{seno}(\pi/2*(hc/h)))+(-0,078745*\text{cos}(3*\pi/2*(hc/h)))+(1,08529*\text{seno}(\pi/2*(hc/h))/(hc/h))+(0,00231439*dap)+(-0,0006405*(hc/h)*(dap^{0,5}))+(0,06485*(hc/h)*(h^{0,5})))*dap)$	98,28	0,48
vacc	Bi vacc	$vacc = ((\text{seno}(\pi/2*(hc/h)))^{7,63289}*(\text{seno}(\pi/2*((hc/h)^{0,5})))^{141,698}*(\text{seno}(\pi/2*((hc/h)^{(1/3)})))^{469,251}*(\text{seno}(\pi/2*((hc/h)^{0,25})))^{392,969})*vcc$	99,59	0,4
vcc	Prodan	$vcc = (\exp(-10,5929+2,7681*\ln(dap)-0,139664*(\ln(dap))^2+0,594781*\ln(h)+0,0709089*(\ln(h))^2))*1,004$	99,35	0,4
vsc	Multiplicativo	$vsc = 0,84336*vcc^{1,03336}$	99,89	0,1

Referencias: h: altura total (m); dap: diámetro a la altura del pecho (cm); e: edad (años); dcc: diámetro con corteza a la altura considerada (cm); hc: altura de corte considerada (m); vacc: volumen acumulado hasta la altura considerada (m³); vcc: volumen total del fuste con corteza (m³); ln: logaritmo natural; vsc: volumen total del fuste sin corteza (m³).

En las Figuras 1, 2 y 3, se muestran los gráficos de residuos a partir de los valores observados y estimados por los modelos seleccionados.

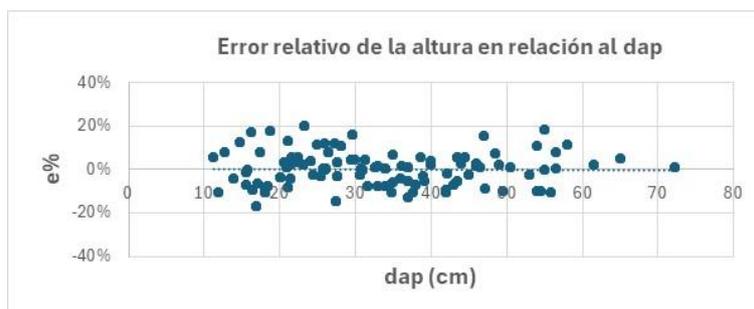


Figura 1. Distribución de errores en relación al DAP, obtenidos a partir del modelo seleccionado para estimar alturas de árboles de pino híbrido cultivado en el noroeste de Misiones.

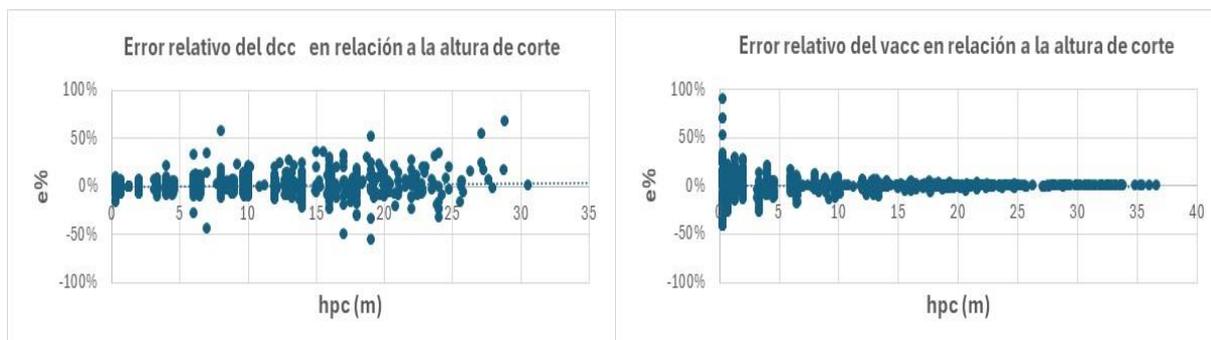


Figura 2. Distribución de errores obtenidos a partir de los modelos seleccionados para estimar diámetros y volúmenes acumulados a diferentes alturas.

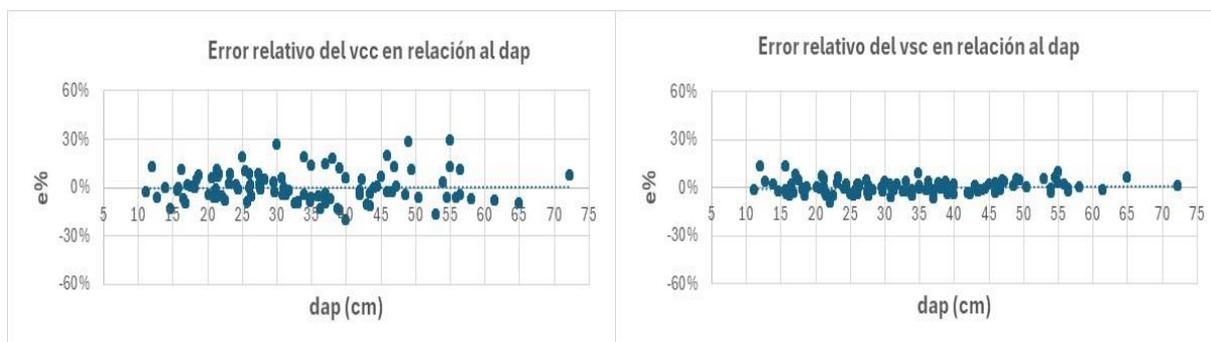


Figura 3: Distribución de errores obtenidos a partir de los modelos seleccionados para volumen con y sin corteza respectivamente, en relación al DAP.

El análisis gráfico de los residuos indica que no existen sesgos marcados en las estimaciones obtenidas con los modelos seleccionados. La tendencia del error promedio de estimación indica que los errores medios de las estimaciones son similares independientemente del diámetro del árbol y de la altura de corte considerada; sin embargo, la dispersión de los errores de estimación del volumen acumulado indica que el modelo, a pesar de ser el de mejor desempeño, no representa toda la variación observada en la base del árbol, donde se presentan grandes variaciones de forma. Aun así, el error promedio del modelo fue muy bajo (0,48%), y mejora las estimaciones en comparación con los demás modelos probados.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos seleccionados son recomendables para la estimación de diámetros y volúmenes parciales y totales de árboles de pino híbrido F2 en inventarios forestales en la zona noroeste de la provincia de Misiones. Su utilización fuera de la zona geográfica y de los rangos especificados en el trabajo no es recomendada sin ser evaluados previamente.



El modelo de Curtis, de doble entrada (DAP y edad) permite estimar las alturas totales de árboles de pino híbrido F2 para su uso en inventarios y en los modelos de volumen y forma seleccionados.

El modelo de Prodan fue el de mejor ajuste, aunque otros modelos han mostrado también buen desempeño para estimar el volumen total con corteza de árboles individuales de pino híbrido F2.

Los modelos de exponente variable presentaron mejor ajuste y son recomendados para la estimación de diámetros y volúmenes acumulados a diferentes alturas para árboles de pino híbrido F2.

La incorporación de árboles de otros sitios a la base de datos permitirá saber si existen diferentes relaciones diámetro/altura que requieran el desarrollo de otros modelos específicos.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mis compañeros de trabajo L. Colcombet, Á. Winck, C. Bulman, D. Aquino, A. Von Wallis, L. Giménez por la colaboración prestada, así como a las empresas LIPSIA y ROBICUE que han permitido realizar el apeo y medición de los árboles que conforman la base de datos sobre la que se realizó este trabajo.

5. LITERATURA CITADA

- COSTAS, R; DE OLIVEIRA, A.; TERESCZUCH, M.; WEBER, E. 2003. Funciones de forma para *Pinus taeda* L. en el Norte de Misiones. En: 10º Jornadas Técnicas Forestales y ambientales. FCF Eldorado – INTA EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones. 7 p.
- COSTAS, R; FRIEDL, A; GONZÁLEZ, J; FOSCO, I; KUBSCH, H; KORTH, S. 2006. Funciones de volúmenes del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 12^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones. Argentina.
- CRECHI, E.; MOSCOVICH, F.; FASSOLA, H.; HAMPEL, H.; DOMECCO, C.; MALETTI, C. 2004. Ecuaciones de volúmenes para *Grevillea robusta* A. en Misiones, Argentina. INTA EEA- Montecarlo. Informe Técnico N° 56. 12p.
- CRECHI, E.; FASSOLA, H.; KELLER, A.; BARTH, S. 2006. Modelos de estimación del volumen individual de árboles con y sin corteza de *Pinus taeda* L. para la zona norte de Misiones, Argentina. 12^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones. Argentina
- FASSOLA, H.; CRECHI, E.; KELLER, A. 2006. Informe anual PAN 571: “Funciones y Algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado”. Curso de capacitación en el empleo de funciones de volumen y volumen-forma para *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* y *Eucalyptus grandis* para distintas regiones agroecológicas de la mesopotamia argentina. Boletín Técnico N° 59. INTA EEA-Montecarlo. 23 p.
- FERRERE, P.; FASSOLA, H.; FAHLER, J.; CRECHI, E.; HENNING, A.; BUNSE, G. 2001. Funciones de volúmenes totales, parciales y de forma para *Pinus caribaea* var. *caribaea*. INTA EEA-Montecarlo. Informe técnico N° 26.
- FRIEDL, R.A.; COSTAS, R.A.; ORUÉ, E.; AMARILLA, A., D.C.; CINTO, J.P. 1992. Funciones de forma relativa polinomiales en *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Revista Yvyrareta. N° 3, p.63-69.
- KELLER, A.; CRECHI, E.; MALETTI, R. 2013. Tabla de volumen para *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus Caribaea* var. *Hondurensis* cultivado en el noroeste de la provincia de Misiones, Argentina. 4º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú 2013.
- KELLER, A.; CRECHI, E. 2014. Ecuaciones de volumen y forma para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze cultivada en la zona norte de la provincia de Misiones, Argentina. XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, FCF-UNaM, Eldorado, Misiones, Argentina.
- KELLER, A.; CRECHI, E. 2015. Ecuaciones de volumen y forma para *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* cultivado en la zona noroeste de Misiones, Argentina. XXIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos.
- KUBSCH, H.; MOSCOVICH, F.; CRECHI, E.; VERA, N. 2005. Tabla de volumen de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PINO HÍBRIDO) para el noroeste de la provincia de Misiones. 3º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. AFOA. Corrientes. 6-9/09/05. ACTAS CD. 10 p.
- MEYER, H.A. 1941. Correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. Pennsylvania Forest School Research. Paper 7. 3p.
- SHARMA, M.; ODERWALD, R.G. 2001. Dimensionally compatible volume and taper Equations Can. J. For. Res. 31: 797–803 Can. J. For. Res. Vol. 31, 2001 NRC Canada.



COSECHA FORESTAL: MAQUINARIA Y OPERADORES EN EL RENDIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Daniel FERRO¹, Tatiana CINQUETTI¹, Matilde MUR¹, Luciano LARRIEU¹, Facundo GUILINO¹, Esteban PEREIRA¹, María Clara DONADELLI¹, Juan Manuel VÁZQUEZ¹, Florencia BONGIORNO¹, María Florencia ZANARDI¹, Victor MERANI¹

RESUMEN

Las empresas forestales han incrementado la mecanización de la cosecha de madera acompañando el incremento productivo y garantizando un abastecimiento de las industrias a costos competitivos. El incremento en el rendimiento de cosecha y la disminución de costos es un punto importante para atender en los planteos forestales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los operarios en la cosecha mecanizada de madera sobre el rendimiento horario y el consumo de combustible. Se utilizaron los datos extraídos de cabezales de harvesters para el análisis de performance de operarios y maquinaria respecto a la productividad y consumo de combustible. Se analizaron 2 maquinarias y 5 operarios, estando anidados a las cosechadoras. Se observó que una máquina tuvo alrededor de un 30 % mayor de rendimiento y 29 % menor uso de combustible que la restante, mientras que se observaron diferencias en la productividad y consumo de combustible entre operarios, que incluso alcanzaron valores del 50 %. Finalmente, se definieron lineamientos de gestión en la relación maquinaria-operador para intentar maximizar los rendimientos y reducir los costos de combustible. El efecto máquina y operador son relevantes tanto en la productividad como en el uso de combustible durante el uso de cosechadoras forestales.

Palabras claves: *harvester, eficiencia, Big Data, StanForD*

1. INTRODUCCIÓN

La producción forestal en países como Argentina y Uruguay se ha incrementado notablemente en el último tiempo. La superficie forestada en Argentina se incrementó de 140.000 ha en 1960 a 1.300.000 ha en el año 2015 (Denegri et al., 2023), mientras que en Uruguay se incrementó de 50.000 ha en 1987 a más de 1.000.000 en la actualidad (Ceres, 2023).

Las empresas del sector forestal han incrementado el nivel de mecanización de las operaciones de cosecha de madera para acompañar el incremento de la producción y garantizar un abastecimiento de las industrias a costos competitivos (Lundbäck et al., 2021). Este comportamiento afecta directamente el costo total de la madera, y puede representar hasta el 50 % del costo total de la madera puesta en industria (Moreira, 1992). El incremento en el rendimiento de cosecha y la disminución de costos es un punto importante para atender en los planteos forestales.

La productividad y los costos de la cosecha mecanizada de madera se encuentra condicionada por características de los árboles, de las máquinas, del terreno, de los operarios, como así también factores legales, administrativos, ambientales, económico, financieros, entre otros (Burla, 2008). En este marco, varios autores concuerdan que una variable que debe ser considerada es el efecto de los operarios, puesto que las destrezas particulares de cada uno en cuanto al manejo de la maquinaria, dada por su capacitación previa en forma teórica o práctica, determina la productividad como los costos de la cosecha (Malinovski y Malinovski, 2000; Nurminem et al., 2006; Machado, 2008).

La racionalización de los sistemas forestales, clasificados según el método de cosecha, las máquinas utilizadas, la mano de obra y las herramientas específicas, permitiría reducir costos y aumentar la

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Contacto: daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar



productividad de la operación (Spinelli et al., 2018; Lundbäck et al., 2021). En este marco, podría utilizarse la información recopilada por los harvesters, puesto que el sistema de gestión de la cosechadora registra automáticamente las acciones del operario (Purfürst y Erler, 2011; Eriksson y Lindroos, 2014, Strubergs et al., 2021). El análisis de esta información permitirá conocer la performance de las máquinas y los operarios, cuya información será valiosa para establecer modificaciones en el sistema o generar espacios de capacitación intentando expresar el máximo potencial de la maquinaria utilizada (Wagner, 2012; Karttunen y Laitila, 2015).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los operarios de harvesters, sobre el rendimiento horario y el consumo de combustible en la cosecha mecanizada de madera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se extrajeron datos estructurados de cabezales harvesters en formato StanForD de operadores provenientes de la cosecha de madera con sistema *cut to length* (CTL) en tala rasa de *Eucalyptus spp.* El rodal tenía 100 meses de edad, con marco de plantación de 5 m x 3 m, y de terreno ondulado con pendiente máxima del 8 %, ubicados en la región de Cerro Chato, Uruguay. Se utilizaron dos harvesters con máquina base John Deere 1270E con un peso de 19.250 kg y cabezal marca Waratah modelo H480C, de 1.350 kg, con barra de corte de 650 mm. Se obtuvieron datos de 5 operarios al azar, de los cuales 3 de ellos (OP1, OP2 y OP3) trabajaron en una máquina (H1) y los otros 2 (OP4 y OP5) en la restante (H2). Se realizó una limpieza de los datos obtenidos eliminando datos nulos y valores atípicos considerados según una desviación mayor a dos veces el desvío estándar y se seleccionaron los datos correspondientes a la actividad de "Procesamiento". Los valores de Rendimiento Horario de la cosecha de madera (RH) y de Consumo Específico de combustible (CE) fueron analizados estadísticamente por análisis de la varianza (ANOVA) considerando un diseño completamente aleatorizado (DCA) con dos factores (Máquina y Operador), encontrándose el factor Operador anidado a Máquina ($p < 0,05$). La variable consumo de combustible se transformó mediante la operación logaritmo para linealizarla y cumplir con los supuestos del análisis. En los factores que arrojaron diferencias estadísticas significativas se realizó una comparación de medias por el test de Tukey ($p < 0,05$). En total se analizaron 429 datos que se corresponden con 80 datos por operador, contabilizando aproximadamente 50 h de trabajo efectivo por cada uno. Se utilizó el software estadístico RStudio (R Core Team, 2023).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra un resumen de los resultados obtenidos.

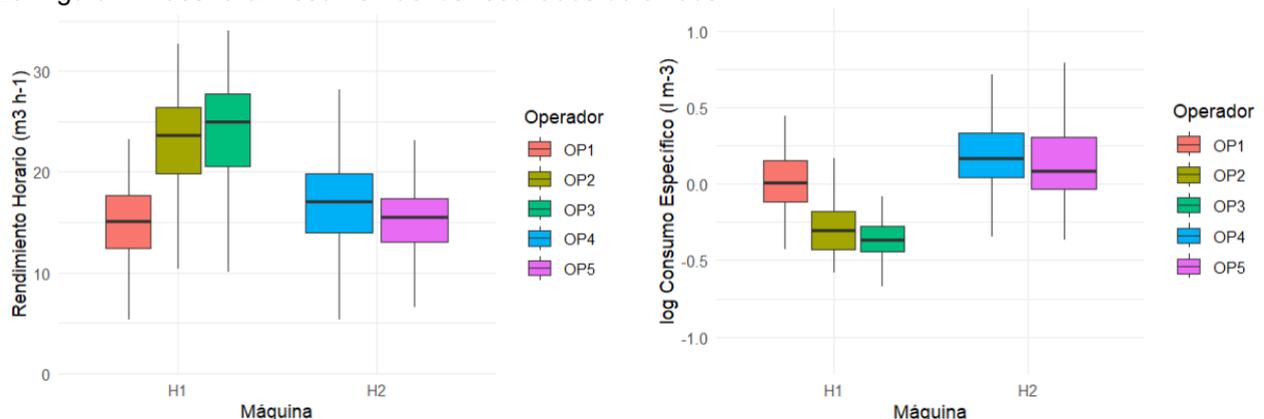


Figura 1. Rendimiento Horario (izquierda) y Consumo Específico (derecha) diferenciada por máquina y operador.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre máquinas para ambas variables y entre operarios en H1 para RH y CE, y en H2 solamente en RH ($p < 0,05$). Entre máquinas, H1 mostró un 27 % mayor de RH y un 29 % menos CE que H2 (Cuadro 1). En H1, OP2 y OP3 tuvieron un 50 % mayor de RH y un 40 % menor de CE que OP1; mientras que en H2, OP4 tuvo un 11% mayor de RH que OP5, sin mostrar diferencia en CE entre ellos (Cuadro 2).



Cuadro 1. Rendimiento Horario (RH) y Consumo Específico (CE) según Máquina. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre máquinas para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	RH ($m^3 h^{-1}$)	CE ($l m^{-3}$)
H1	20,2 b	0,9 a
H2	16,0 a	1,2 b

Cuadro 2. Rendimiento Horario (RH) y Consumo Específico (CE) según Máquina. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre operarios dentro de cada máquina para una misma variable ($p < 0,05$).

Máquina	Operador	RH ($m^3 h^{-1}$)	CE ($l m^{-3}$)
H1	OP1	14,7 A	1,03 B
	OP2	22,4 B	0,76 A
	OP3	23,4 B	0,72 A
H2	OP4	16,8 b	1,20 a
	OP5	15,1 a	1,16 a

Las diferencias entre máquinas podrían asociarse con el estado de los componentes, y puede deberse al año de fabricación de los elementos constitutivos de la maquinaria, a la historia de uso del equipo y/o al mantenimiento general, en coincidencia con lo mencionado por Burla (2008).

Las diferencias entre los operarios, relacionadas con la productividad, podrían deberse tanto a la edad de estos, a la experiencia en el uso de las herramientas y/o a la capacitación recibida para el uso y manipuleo de la maquinaria (Malinovski y Malinovski, 2000; Nurminen et al., 2006; Machado, 2008). Existen estudios que cuantifican las diferencias esperadas en el procesamiento luego de la capacitación de los operarios para el uso de los harvesters (Strubergs et al., 2021; Strubergs et al., 2022).

Las diferencias en la productividad entre operarios podrían haber sido la causa de las diferencias observadas en el uso del combustible. Según los resultados encontrados en este trabajo, en tanto se incrementó la productividad por las máquinas y los operadores, en general, se produjo una reducción en el uso de combustible específico. Este comportamiento resulta sumamente importante dado que la cosecha forestal es uno de los principales costos en relación con la madera cosechada y puesta en industria (Moreira, 1992).

En el caso de la situación planteada en este trabajo, cabría la posibilidad de generar lineamientos para maximizar las prestaciones de las maquinarias. Se observó que H1 tiene un mayor potencial que H2, del mismo modo que OP1 (asociado a H1) tendría un menor potencial que OP4 (asociado a H2). En este marco, se sugeriría que se realice una modificación en las máquinas utilizadas por los operarios. La maquinaria con mayor potencial (H1) debería ser utilizada por el operario con mejor performance (OP4). Estas modificaciones, relacionadas con la racionalización de los sistemas según autores (Spinelli et al., 2018; Lundbäck et al., 2021), permitirían expresar el máximo potencial de los recursos y la maquinaria utilizada en pos de un mayor rendimiento y menores costos (Wagner, 2012; Karttunen y Laitila, 2015). Asimismo, no debe descartarse los espacios de capacitación para que los operarios puedan incrementar su productividad, reducir los costos y alargar la vida útil de la maquinaria (Strubergs et al., 2022).

4. CONCLUSIÓN

El rendimiento horario y el consumo de combustible depende considerablemente de la maquinaria y de los operarios. El análisis de la performance de los operarios y las máquinas permiten tomar decisiones de gestión para maximizar el rendimiento y reducir los costos de combustible.

AGRADECIMIENTOS

La/os autores agradecen a Interagrovia S.A., representante John Deere en Uruguay y Argentina, por los datos brindados para la realización de este trabajo.



5. BIBLIOGRAFÍA

- BURLA, E. 2008. Evaluación técnica y económica del "Harvester" en la cosecha de Eucaliptos. Tesis en Ingeniería Agrícola. Minas Gerais, Brasil. Universidad Federal de Viçosa. pp. 36-49.
- CERES. 2023. La producción forestal en Uruguay. Un sector líder y sostenible. Informe Especial. Disponible en: https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo_1699474632.pdf. Último acceso: agosto de 2024.
- DENEGRI, G.; BERNIO, F.; SANDOVAL, M.; ACCIARESI, G. 2023. Argentina: análisis de la concentración territorial de las plantaciones forestales entre 1965 y 2015. Revista De La Facultad De Agronomía 121(2), 111.
- ERIKSSON, M.; LINDROOS, O. 2014. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. International Journal of Forest Engineering 25(3): 179-200.
- KARTTUNEN, K.; LAITILA, J. 2015. Forest management regime options for integrated small-diameter wood harvesting and supply chain from young Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. Int. J. For. Eng., 26, 124–138.
- LUNDBÄCK, M.; HÄGGSTRÖM, C.; NORDFJELL, T. 2021 Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood, International Journal of Forest Engineering 32(3):202-215. DOI: 10.1080/14942119.2021.1906617
- MACHADO, C. 2008. Colheita florestal. 2a ed. Viçosa, MG, Ed. UFV.
- MALINOVSKY, J.; MALINOVSKY, R. 2000. Programa de computacao para simulacao e controle de operacoes de colheita de madeira. In: Seminario de Atualizacao Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal (11, 2000, Curitiba). Trabalhos apresentados. Curitiba, Brasil, FUPEF. pp 152-197.
- MOREIRA, M. 1992. O desenvolvimento da mecanização na exploração florestal sob a ótica dos custos. VII Seminario de Atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal. Curitiba nn 161-171.
- NURMINEN, T.; KORPUNEN, H.; UUSITALO, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. Silva Fennica vol. 40(2): 335-363.
- PURFÜRST, F.T.; ERLER, J. 2011. The Human Influence on Productivity in Harvester Operations. International Journal of Forest Engineering 22(2): 15-22.
- R CORE TEAM. 2023. R: A language and environment for statistical computing. Disponible en: <https://www.R-project.org/>. Último acceso: agosto de 2024.
- SPINELLI, R.; MOURA, A.C.A.; SILVA, P.M. 2018. Decreasing the diesel fuel consumption and CO2 emissions of industrial in-field chipping operations. Journal of Cleaner Production. Amsterdã. p. 2174-2181.
- STRUBERGS, A.; LAZDINS, A.; SISENIS, L. 2021. Use of StanForD 2010 data for determination of effect of harvester operator periodic training on productivity and fuel economy. Jelgava, 26: 1163-1167.
- STRUBERGS, A.; LAZDINS, A.; SISENIS, L. 2022. Use of CTL harvester .hpr and .mom files to analyze impact of operator training on productivity. Jelgava, 25: 432-437.
- WAGNER, J.E. 2012. Misinterpreting the internal rate of return in sustainable forest management planning and economic analysis. J. Sustain. For. 31:239–266.



DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD PARA PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

D. Martín SANDOVAL¹, Marcelo F. ARTURI¹, Juan F. GOYA¹

RESUMEN

Los diagramas de manejo de la densidad (DMD) son una herramienta analítica que permite modelar y optimizar diferentes regímenes silvícolas al analizar la relación entre el tamaño de los árboles, expresado por el diámetro cuadrático medio, y la densidad del rodal. Este trabajo detalla el procedimiento para construir un DMD a partir de datos del inventario nacional de plantaciones de la provincia de Entre Ríos 2017. Los parámetros obtenidos incluyen una ordenada al origen (a) de 4,862 y una pendiente (b) de -1,403, valor ligeramente diferente del modelo clásico de -1,605 propuesto por Reineke. Los regímenes evaluados -sin raleo, raleo sistemático y raleo por lo bajo- partiendo de una densidad inicial de 1000 ind/ha, presentan rendimientos consistentes con la bibliografía actual. Se destaca la importancia de esta herramienta para la planificación silvícola, subrayando la necesidad de incorporar variables como el índice de sitio y la altura dominante promedio en el DMD, lo que permitiría estimar la edad óptima para las intervenciones.

Palabras claves: *raleo, autoraleo, Reineke*

1. INTRODUCCIÓN

La densidad de los rodales constituye un estado o factor de producción de suma importancia e impacto sobre las características de los individuos como de la estructura y producción del rodal en su conjunto. Los diagramas de manejo de la densidad (DMD) son modelos gráficos de la dinámica de rodales coetáneos (Newton, 1997). Reflejan las relaciones fundamentales que involucran el tamaño de los árboles, la densidad de los rodales, la ocupación del sitio y la mortalidad por autoraleo (Jack y Long, 1996). Representan la dinámica de la mortalidad provocada por la competencia densodependiente que permite al silvicultor disponer de una herramienta para pronosticar el desarrollo del rodal, comparar diferentes regímenes silviculturales y tomar decisiones en función de los objetivos de manejo mediante una herramienta simple (Shaw y Long, 2007).

Los DMD son modelos que pueden ser utilizados para lograr diferentes objetivos de manejo de las plantaciones, establecer el mejor nivel de densidad de acuerdo con esos objetivos mediante la determinación de un régimen óptimo de raleo, generar las condiciones adecuadas para suministrar servicios ecosistémicos como carbono o para propiciar la diversidad en sistemas implantados (Long y Shaw 2005; Shaw y Long, 2007; Castedo-Dorado et al., 2009; Vacchiano et al., 2008).

El concepto principal en el cual se basan estos DMD es el de la ley de autoraleo, la cual describe una relación universal entre el tamaño de los individuos (diámetro cuadrático medio, volumen) y la densidad del rodal (número de individuos por unidad de área). Diferentes autores y en diferente momento han establecido matemáticamente esta relación (Reineke, 1930, Yoda et al., 1963). Asimismo, existe un gran consenso sobre la independencia de estos índices de densidad de la edad y el índice de sitio (IS) del rodal, aunque algunos trabajos cuestionan la universalidad de estos supuestos (Weiskittel et al., 2009; Ge et al., 2017).

A nivel nacional no se registran antecedentes que permitan contar con DMD para plantaciones de *E. grandis*. Este hecho representa una oportunidad para explorar estas alternativas para la planificación de la silvicultura de esta especie con más de 130.000 ha forestadas en la provincia de Entre Ríos (SDFI y LISEA, 2017).

¹ Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA) - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - Universidad Nacional de La Plata. dmartinsandoval@gmail.com



El objetivo de este trabajo fue elaborar un diagrama de manejo de la densidad para plantaciones de *Eucalyptus grandis* ubicados en diferentes zonas de la provincia de Entre Ríos que permita planificar en forma más o menos sencilla opciones silvícolas para el manejo de estas plantaciones. Adicionalmente, y a modo de ejemplo, se desarrollan tres opciones silviculturales de posible aplicación en la zona.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la construcción del DMD se utilizó un subconjunto de parcelas de la base de datos proveniente del Inventario Forestal Permanente de los Bosques Implantados para la provincia de Entre Ríos del año 2017 (SDFI y LISEA, 2017) constituido por 174 parcelas de muestreo de 500 m² instaladas en plantaciones de *E. grandis* con diferentes métodos de repoblación (plantación o rebrote), de edad conocida y distribuidas geográficamente en los departamentos de Federación, Concordia, Colón, San Salvador, Concepción del Uruguay y Gualeguaychú. En estas parcelas se relevaron para cada árbol el diámetro a la altura del pecho (cm), la altura total (m), el número de árboles (arb/ha), el número fustes (ind/ha) y la condición (vivo/muerto). Un número indeterminado de estas parcelas presentó raleos.

A partir de estas variables se calculó la altura media de los árboles dominantes (AMD; m) (Assmann, 1970), el volumen total con corteza de los árboles individuales (VTCC, m³) con la ecuación propuesta por Fassola et al. (2006), el diámetro cuadrático medio (DQ, cm) y si presenta o no mortalidad (Si/No). La densidad relativa de los rodales se determinó mediante el índice de densidad de rodal (IDR) asumiendo el valor propuesto para la pendiente de -1,605 (Reineke, 1933).

Estructura de los modelos y análisis estadístico

El procesamiento de los datos y los diferentes ajustes se realizaron en R (R Core Team, 2023).

Para determinar la línea de IDR máximo se calculó el IDR de todos los rodales analizados ($n = 174$) y se seleccionaron aquellos cuyo valor fue superior al 60% del valor máximo de los IDR ($n = 45$). Con este subconjunto de rodales se ajustó un modelo de regresión cuantílica utilizando el paquete *quantreg* (Koenker, 2023). El modelo se ejecutó con el comando *rq* (*quantile regression*), configurado con un parámetro *tau* de 0,9, obteniendo así los valores de la ordenada al origen (*a*) y la pendiente (*b*).

$$\log(N) = a - b * \log(DQ) \text{ [Ecuación 1]}$$

Donde: *log*: logaritmo en base 10; *N*: número de fustes (ind/ha); *DQ*: diámetro cuadrático medio (cm); *a*, *b*: parámetros

A partir de la línea que representa el límite de mortalidad densodependiente (*IDR_{Max}*) se definieron dos límites adicionales: el límite superior de existencias en crecimiento correspondiente al 60% del valor del máximo IDR (Dean y Baldwin, 1993) que se denominó *IDR₆₀* y el límite inferior que permite una ocupación adecuada del sitio (Long, 1985) calculado como el 30% del IDR máximo (*IDR₃₀*). La zona definida entre el *IDR₆₀* y el *IDR₃₀* se denominó "banda de manejo" y representa los límites entre los cuales se circunscriben los regímenes silvícolas atendiendo a las restricciones de óptimo crecimiento y ocupación del sitio.

$$IDR_{max} = 10^a * DQr^b; IDR_{60} = 0,6 * IDR_{max}; IDR_{30} = 0,3 * IDR_{max} \text{ [Ecuación 2]}$$

Donde: *IDR*: índice de densidad de rodal (ind/ha); *Max*, *60*, *30*: máximo, 60% y 30%; *Dqr*: diámetro cuadrático de referencia (25 cm); *a*: ordenada al origen; *b*: pendiente

Para calcular cada punto dentro del DMD se utilizaron el conjunto de ecuaciones típicas propuestas por Reineke (1933) y sus diferentes expresiones que relacionan el diámetro cuadrático medio, el número de individuos y el IDR (Long, 1985).

$$IDR = N * \left(\frac{DQr}{DQ}\right)^b; N = \frac{IDR}{\left(\frac{DQ}{DQr}\right)^b}; DQ = DQr * \left(\frac{N}{IDR}\right)^{(1/b)} \text{ [Ecuación 3]}$$

Donde: *IDR*: índice de densidad de rodal (ind/ha); *N*: número de fustes (ind/ha); *DQ*: diámetro cuadrático medio de referencia (25 cm); *DQ*: diámetro cuadrático medio (cm); *b*: valor de pendiente ajustada (adimensional).



Para graficar el DMD se utilizó el paquete *ggplot2* (Wickham, 2016) con los ejes x (*DQ*) e y (*N*) en escala logarítmica y con las líneas de IDR calculadas (*IDRMax*, *IDR60* e *IDR30*). Adicionalmente se graficaron cada uno de los rodales que fueron utilizados para la construcción del DMD indicando si se observó o no mortalidad según registro de los individuos muertos en cada parcela.

Complementariamente a la información básica del DMD se ajustó un modelo logarítmico que permite predecir el volumen total a partir de las variables estructurales *DQ*, *N* y *AMD*.

$$\log(VTCC) = i + a * \log(DQ) + b * \log(AMD) + c * \log(N) \text{ [Ecuación 4]}$$

Donde: *log*: logaritmo en base 10; *VTCC*: volumen total con corteza (m³/ha); *DQ*: diámetro cuadrático medio (cm); *AMD*: altura media dominante (m); *N*: número de fustes (ind/ha); *i*, *a*, *b*, *c*: parámetros.

Para la determinación de los parámetros del modelo se utilizó el paquete *systemfit* (Henningsen y Hamann, 2007) el cual permite el ajuste simultáneo de un sistema lineal de ecuaciones. Como parámetros se utilizó el método "SUR" (*Seemingly Unrelated Regressions*) con un número máximo de iteraciones (*maxiter*) de 1000. A partir de este modelo se calcularon las isóneas de volumen de 50, 100, 200 y 300 m³/ha mediante el antilogaritmo de la ecuación 4.

Regímenes silvícolas propuestos

Se definieron tres regímenes diferentes con igual densidad inicial de plantación (1000 ind/ha): uno típicamente para la producción madera para triturado y sin raleos (RS1), otro para la producción de rollizos para aserrado con un raleo sistemático (RS2) y un último con un raleo por lo bajo (RS3). Se asumió que el método de raleo aplicado tiene un efecto diferencial sobre la masa remanente. En el raleo sistemático se mantiene el mismo DQM antes y después de la intervención, en cambio en el raleo por lo bajo, se consideró un aumento del 10% el DQM de los individuos remanentes debido a que se extraen los individuos de menor DAP. Para calcular el volumen resultante de cada intervención se utilizó la ecuación 4 con los parámetros obtenidos del ajuste del modelo y considerando una *AMD* de 25 m.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los valores principales de las variables estructurales utilizadas para la construcción del DMD.

Cuadro 1. Valores medios de las variables estructurales de los rodales de *E. grandis* utilizados para la construcción del DMD (n = 174).

Método de repoblación	n	Edad (años)	Número de fustes (ind/ha)	AMD (m)	DQ (cm)	IDR (ind/ha)
Rebrote	56	7,1 (3,2)	850 (335)	24,3 (6,5)	16,5 (4,0)	426,5 (173,5)
Plantación	118	7,8 (3,1)	733 (186)	25,5 (6,9)	18,3 (4,6)	437,0 (157,9)

Los valores entre paréntesis corresponden al desvío estándar.

Los parámetros básicos del DMD (ecuación 1) fueron 4,862 y -1,403 para la ordenada al origen (*a*) y el valor de pendiente ajustada (*b*) respectivamente y un *IDRMax* calculado de 795 ind/ha (ecuación 2). Este valor es inferior al valor de IDR observado en la bibliografía. Por ejemplo, en la plataforma PlaForNEA (Keller et al., 2017) para *E. grandis* en la zona Concordia (1000 ind/ha, IS: 25 y sin raleos) se observa mortalidad densodependiente a los 19 años (IDR: 536) lo que representa un *IDRMax* de 893. Para el caso de plantaciones de *E. grandis* en Uruguay se registran valores de IDR máximo de 1200 (Rachid-Casnati et al., 2022). Sin embargo, los resultados presentados en este trabajo se consideran representativos del estado actual de las plantaciones de *E. grandis* dada la amplitud de situaciones relevadas en el inventario. También se puede observar que un número importante de rodales se encontraría en condiciones de ser raleados (en zona superior al 60% del *IDRmax*) para mejorar su condición de crecimiento (Gráfico 1). Asimismo, en función de la identificación del método de repoblación (rebrote o plantación) se podría asumir la presencia de parcelas de primera rotación con mayores edades o bien un menor crecimiento en los rodales provenientes de rebrote.

El DMD se presenta en Gráfico 1 con sus líneas de IDR características, las trayectorias para los diferentes regímenes silvícolas y las isolíneas de volumen total.

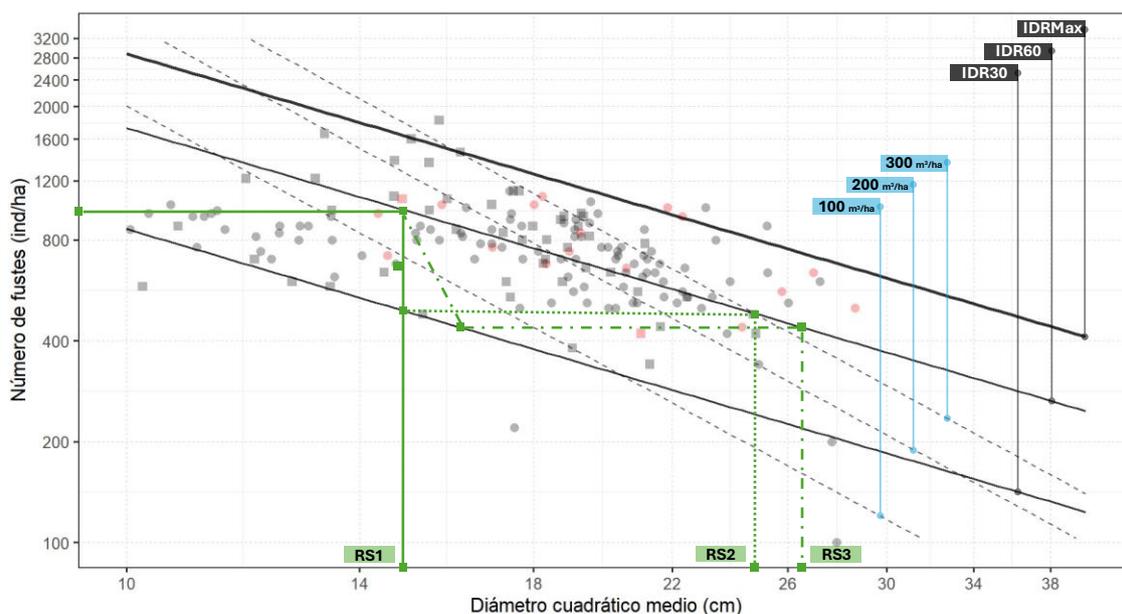


Gráfico 1. Diagrama de manejo de la densidad para rodales de *Eucalyptus grandis* en la provincia de Entre Ríos mostrando las trayectorias para cada régimen silvícola propuesto. Cada punto indica si es plantación (círculo) o rebrote (cuadrado) y si presenta mortalidad o no (rojo o gris, respectivamente).

El modelo de VTCC (ecuación 4) tuvo un muy buen ajuste en términos de R^2 (0,996) con todos los parámetros significativos ($p\text{-value} < 2,22e-16$) y valores de -4,4203021, 2,2505967, 0,6874920 y 1,0091808 para i , a , b y c , respectivamente.

Los valores de DQ y rendimientos obtenidos en el ejemplo de intervenciones (Cuadro 1) son valores razonables y aproximados a los informados en la bibliografía. Lo que subyace en las diferentes trayectorias de intervención o regímenes silvícolas (Gráfico 1) es que para lograr esos valores de DQ y rendimiento es necesario diferentes tiempos de realización y diferentes rotaciones. La herramienta del DMD solo representa una relación dimensional entre densidad y el tamaño de los árboles, expresado a través del DQ.

Cuadro 1. Valores resultantes de la aplicación del DMD para los diferentes regímenes silvícolas propuestos.

Régimen silvícola	Raleo (ind/ha)	DQ raleo (cm)	Raleo (m³/ha)	DQ reman. (cm)	Cosecha (ind/ha)	DQ cosecha (cm)	Cosecha (m³/ha)	Cosecha + raleo (m³/ha)
RS1	0	-	-	14,7	1000	14,7	156,8	156,8
RS2	498	14,7	81,5	14,7	502	24,1	238,0	319,5
RS3	562	13,2	68,8	16,2	438	26,6	259,0	327,8

4. CONCLUSIONES

Los DMD han demostrado ser una herramienta útil para la definición de regímenes silvícolas o planes de intervención en los rodales de una manera sencilla habiendo definido claramente los objetivos de la producción bajo el criterio de mantener el rodal dentro de límites de densidad que aseguren altos rendimientos. El DMD aquí presentado continúa en desarrollo con nueva información, por ejemplo, la incorporación mediante curvas de altura media dominante e índices de sitio la posibilidad de estimación de los momentos en los cuales resultaría oportuno realizar las intervenciones, raleos y corta final.



AGRADECIMIENTOS

A la Subsecretaría de Desarrollo Foresto Industrial de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación por el aporte de los datos del inventario de plantaciones forestales de Entre Ríos y especialmente al técnico regional Ing. Forestal Mario Flores Palenzona.

5. BIBLIOGRAFÍA

- CASTEDO-DORADO, F.; CRECENTE-CAMPO, F.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; BARRIO-ANTA, M. 2009. Development of a stand density management diagram for radiata pine stands including assessment of stand stability. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 82 (1): 1-16. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpm032>
- DEAN, T.; BALDWIN, V. 1993. Using a density-management diagram to develop thinning schedules for Loblolly pine plantations. Research paper SO-275. USDA, Forest services, Southern forest experiment station. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rp/rp_so275.pdf
- FASSOLA, H.; CRECHI, E.; KELLER, A.; BARTH, S.; COSTA, J. 2006. Funciones de volumen total para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden implantado en el NE de la provincia de Entre Ríos, Argentina. 12as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo, INTA
- GE, F., ZENG, W., MA, W., MENG, J. 2017. Does the slope of the self-thinning line remain a constant value across different site qualities? An Implication for Plantation Density Management. *Forests* 8(10), 355. <https://doi.org/10.3390/f8100355>
- HENNINGSEN, A.; HAMANN, J.D. 2007. systemfit: A Package for Estimating Systems of Simultaneous Equations in R. *Journal of Statistical Software* 23(4): 1-40. <https://www.jstatsoft.org/v23/i04/>
- JACK, S.B.; LONG, J.N. 1996. Linkages between silviculture and ecology: an analysis of density management diagrams. *Forest Ecology and Management* 86 (1-3): 205-220. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03770-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03770-X)
- KELLER, A.E.; CRECHI, E.H.; FASSOLA, H.E.; COLCOMBET, L.; BARTH, S.R.; WINCK, R.A.; DI RIENZO, J. 2017. PlaForNEA, Plataforma de Gestión Forestal. INTA EEA Montecarlo. URL <http://www.plafornea.com.ar>
- KOENKER, R. 2023. quantreg: Quantile Regression. R package version 5.95. <https://CRAN.R-project.org/package=quantreg>.
- LONG, J.N. 1985. A practical approach to density management. *Forestry Chronicle* 61: 23–27. <https://pubs.cif-ifc.org/doi/pdf/10.5558/tfc61023-1>
- NEWTON, P.F. 1997. Stand density management diagrams: review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest Ecology and Management* 98(3): 251-265. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00086-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00086-8)
- R CORE TEAM. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- RACHID-CASNATI, C.; RESQUIN, F.; HIRIGOYEN, A. 2022. Introducción al uso del Índice de Densidad Relativa para el manejo poblacional de plantaciones de pinos y eucaliptos para usos sólidos. *Revista INIA* 71: 117-120. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16945/1/INIA-71-diciembre-2022-Rachid.pdf>
- SHAW, J.D.; LONG, J.N. 2007. A density management diagram for longleaf pine stands with application to red-cockaded woodpecker habitat. *Southern Journal of Applied Forestry*. 31(1): 28-38. <https://research.fs.usda.gov/treearch/26787>
- SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO FORESTO INDUSTRIAL DE LA NACIÓN (SDFI) y LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE SISTEMAS ECOLÓGICOS Y AMBIENTALES (LISEA) - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP. (2017). Inventario Nacional de Plantaciones Forestales. Inventario Forestal Permanente de los Bosques Implantados. Entre Ríos - Área continental. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/70444/Documento_completo.pdf-PDFA1b.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- VACCHIANO, G.; MOTTA, R.; LONG, J.N.; SHAW, J.D. 2008. A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A tool for assessing the forest's protective effect. *Forest Ecology and Management* 255 (7): 2542-2554. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.015>.
- WEISKITTEL, A.; GOULD, P.; TEMESGEN, H. 2009. Sources of variation in the self-thinning boundary line for three species with varying levels of shade tolerance. *Forest Science* 55(1). https://www.fs.usda.gov/pnw/pubs/journals/pnw_2009_weiskittel001.pdf
- WICKHAM, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.



IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ÁREAS QUEMADAS EN PLANTACIONES FORESTALES POR MEDIO DE SENSORES REMOTOS EN LA ZONA NORTE DE MISIONES

Martin O. ORONA¹, Gustavo A. MASLOWSKI¹, Rubén C. CINAUSKI¹, Andres. A. L. LINDAO^{1,2}

RESUMEN

El siguiente trabajo se llevó a cabo en la zona norte de la provincia de Misiones, en rodales de *Pinus spp.* que han sido afectados por incendios durante enero del año 2022. Dichos rodales son analizados a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 (S2A) e imágenes de dron (DJI - *Phantom 3 pro*). Los objetivos de este trabajo fueron la identificación de áreas afectadas por incendios a partir del análisis visual de imágenes de alta resolución generada por dron complementadas con la realización de un índice de quema normalizada por medio de imágenes satelitales Sentinel 2 (S2A) y comparar sus resultados. Las metodologías de análisis utilizadas han demostrado ser efectivas al momento de la identificación de las áreas afectadas, pero en el caso de las imágenes obtenidas por medio del dron no es posible diferenciar el grado de afectación (severidad) del incendio en los lotes. Por otro lado, el cálculo del índice nos permite identificar y diferenciar de manera efectiva la severidad de los incendios, aunque no descartamos la necesidad de una visita y posterior constatación a campo para aportar mayor solidez a los resultados obtenidos.

Palabras clave: *drones, satélites, Pinus spp., índice de quema normalizada – NBR*

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales se definen como fuegos, ya sean de origen natural o antrópico, que se producen en ecosistemas terrestres y se propagan a través de la vegetación, afectando tanto a bosques naturales como a plantaciones (Pausas, 2020). Estos incendios se clasifican principalmente en dos tipos: los incendios de superficie, que se desarrollan en el material combustible que se encuentra justo sobre el suelo y por debajo de las copas de los árboles, y los incendios de copas, que involucran la combustión de las copas arbóreas. Los primeros se propagan rápidamente al consumir hojarasca, ramas muertas y otros restos vegetales, mientras que los segundos, más destructivos, suelen ocurrir en forestaciones de coníferas y pueden resultar en pérdidas significativas de árboles (Pausas y Keeley, 2019).

Además de la destrucción inmediata que causan, los incendios forestales aumentan el riesgo de plagas y enfermedades en las plantaciones, ya que, las heridas provocadas por el fuego hacen que los árboles sean más vulnerables a ataques de insectos y a infecciones fúngicas. Esto puede llevar a una disminución en la calidad de la madera y, en muchos casos, a la muerte de los árboles afectados (Moretti et al., 2006).

Las estimaciones indican que anualmente se queman entre 200 y 500 millones de hectáreas de vegetación en todo el mundo, afectando a múltiples biomas y ecosistemas (Montealegre et al., 2014). Entre fines de 2021 y mediados de 2022, la provincia de Misiones, Argentina, sufrió una serie de incendios que devastaron grandes extensiones de la Selva Paranaense. Durante este período, las condiciones de sequía actuaron como catalizadores, permitiendo que los incendios se propaguen a grandes áreas de bosque nativo y forestaciones con especies implantadas (Leszczuk et al., 2022).

Considerando la importancia de identificar y cuantificar rápidamente el daño ocasionado por los incendios en una forestación, los sensores remotos se tornan herramientas valiosas. Las imágenes satelitales posibilitan una amplia cobertura espacial y temporal, así como también permiten percibir fragmentos del espectro electromagnético, lo que posibilita identificar cambios a nivel fisiológico en la vegetación afectada

¹ Facultad de Ciencias Forestales – UNaM, Bertoni 124, Eldorado, Misiones, Argentina.

² Autor de correspondencia: 3751 – 525378; andres.lindao@fcf.unam.edu.ar



y la construcción de índices espectrales que resaltan estos cambios (NDVI, EVI, SAVI, NBR). Asimismo, las imágenes de alta resolución obtenidas mediante drones pueden facilitar el análisis y la toma de decisiones posteriores a la ocurrencia de estos sucesos.

Los objetivos de este trabajo se basaron en la identificación del área afectada por incendios en 2 lotes de *Pinus* spp. mediante imágenes aéreas de alta resolución generadas por drones, complementándolas con imágenes obtenidas por satélites, a través del análisis del índice de quema normalizada (NBR), para finalmente realizar una comparación entre ambas metodologías.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo se lleva a cabo en rodales de *Pinus* spp, situados en la zona Norte de la provincia de Misiones con una superficie aproximada de 56 hectáreas. Dichos rodales fueron afectados por un incendio ocurrido en el mes de enero del año 2022, los mismos fueron analizados y evaluados a través de imágenes satelitales (S2-L-2A) y vuelos de dron (*Phantom 3 pro*).

Obtención de imágenes satelitales y cálculo del NBR

Las imágenes utilizadas para llevar a cabo esta parte del trabajo son del Servicio Marino Copernicus de la UE, pertenecientes al satélite Sentinel 2-L-2A. Este cuenta con una resolución espacial que varía en 10, 20 y 60 metros y un tiempo de revisita de 5 días (si fuéramos a utilizar ambos satélites). Las imágenes pertenecen al día 9 de febrero del año 2022. Esta plataforma nos permite el cálculo "on line" de diferentes índices (en este caso NBR), donde nosotros mismos a partir de un usuario previamente creado (de manera gratuita) podemos operar con las diferentes bandas/información que posee el servicio y descargar los productos preelaborados. Una vez calculado el índice es llevado al software QGIS (versión utilizada 3.28.4) para la poligonización y delimitación de áreas, cálculos de superficies afectadas y severidad del incendio. Finalmente se efectúan las cartografías/productos finales a través del compositor de impresiones.

El Índice de Quema Normalizado - NBR es una herramienta utilizada para evaluar el área quemada y la severidad de los incendios forestales, siendo su cálculo a partir de la normalización de las reflectancias de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo medio (SWIR) (Miller y Yool, 2002; Patterson y Yool, 1998). La siguiente expresión es la fórmula utilizada para el cálculo del NBR con el satélite *Sentinel*;

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} = \text{Sentinel 2} = \frac{(B08 - B12)}{(B08 + B12)}$$

Donde B08 y B12 indica a las bandas utilizadas.

Este índice permite establecer diferencias en el comportamiento espectral de la vegetación sana y quemada (vegetación sana y vigorosa = alta reflectividad en la banda del NIR, disminuyendo a medida que esta sufre algún daño, mientras que, aumenta en la banda del SWIR), indicando que valores bajos de NBR se corresponden a una mayor severidad de incendios (mayor diferencia entre la reflectancia de ambas bandas), lo que se asocia a una mayor afectación de la vegetación, mientras que, valores altos de NBR se relacionan con áreas poco o nada afectadas por el fuego (De Santis y Vaughan, 2009).

Obtención de imágenes con dron y procesamiento de las mismas

Para la parte del relevamiento aerofotogramétrico se utilizó un dron *Phantom 3 pro* de la marca DJI seteado a una altura de vuelo de 120 metros y un solapamiento lateral y frontal de las imágenes en 75 % para ambos casos, el ángulo de la cámara se correspondió a 90° con una resolución espacial postproceso de 5 centímetros por píxel. Estas imágenes fueron tomadas el día 3 de febrero del año 2022 con las condiciones climáticas apropiadas para el vuelo. La metodología de trabajo utilizada para el relevamiento pre/posproceso se refleja en la Figura 1. Todo el proceso de creación de mosaicos y planes de vuelo es llevado a cabo con software propio del dron y el trabajo posterior se realiza en el software QGIS (versión utilizada 3.28.4).

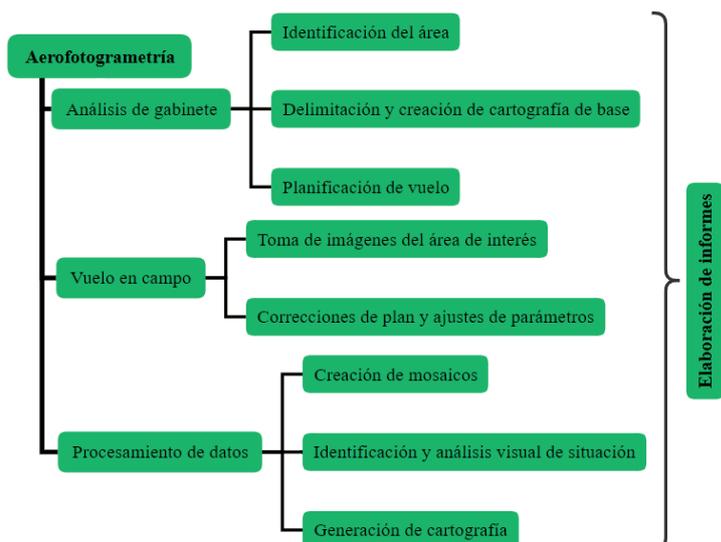


Figura 1. Metodología utilizada para el relevamiento aerofotogramétrico – Incluye el pre y posproceso de las imágenes obtenidas del área de estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las forestaciones evaluadas son del género *Pinus* spp., las mismas se encuentran divididas en dos rodales (Figura 2). El rodal que se encuentra al **Oeste** (izquierda) pertenece al año 2004 con una superficie de 20,7 hectáreas y el rodal que se encuentra al **Este** (derecha) se corresponde al año 2005 con una superficie de 35,9 hectáreas. Ambos rodales suman una superficie de 56,9 hectáreas lo cual representa el área real de ocupación establecida a partir del procesamiento de las imágenes obtenidas por el dron.

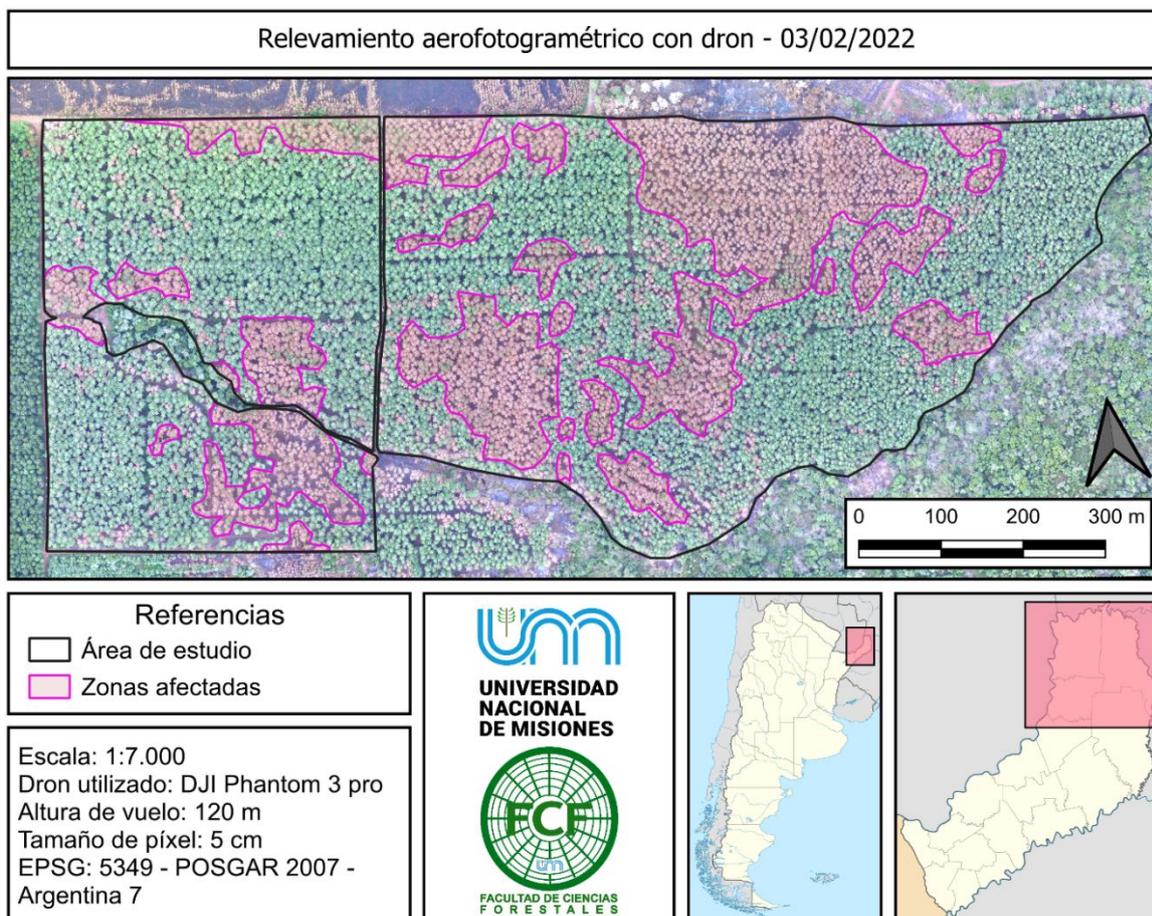


Figura 2. Mapa del área de estudio con sus respectivas superficies afectadas por los incendios.

El análisis de las imágenes efectuadas con el dron, en su pos-procesamiento nos permite identificar visualmente un área de 17,8 hectáreas afectadas por los incendios de algún tipo (sean estos de copa o superficie) pero no es posible indicar la severidad de este para cada situación.

Por otro lado, a partir del análisis del índice NBR, realizado por medio de las imágenes satelitales podemos ver la severidad de los incendios (Figura 3) en la paleta de colores, variando esta de rojo-amarillo-verde e indicando el grado de esta, de mayor a menor severidad respectivamente.

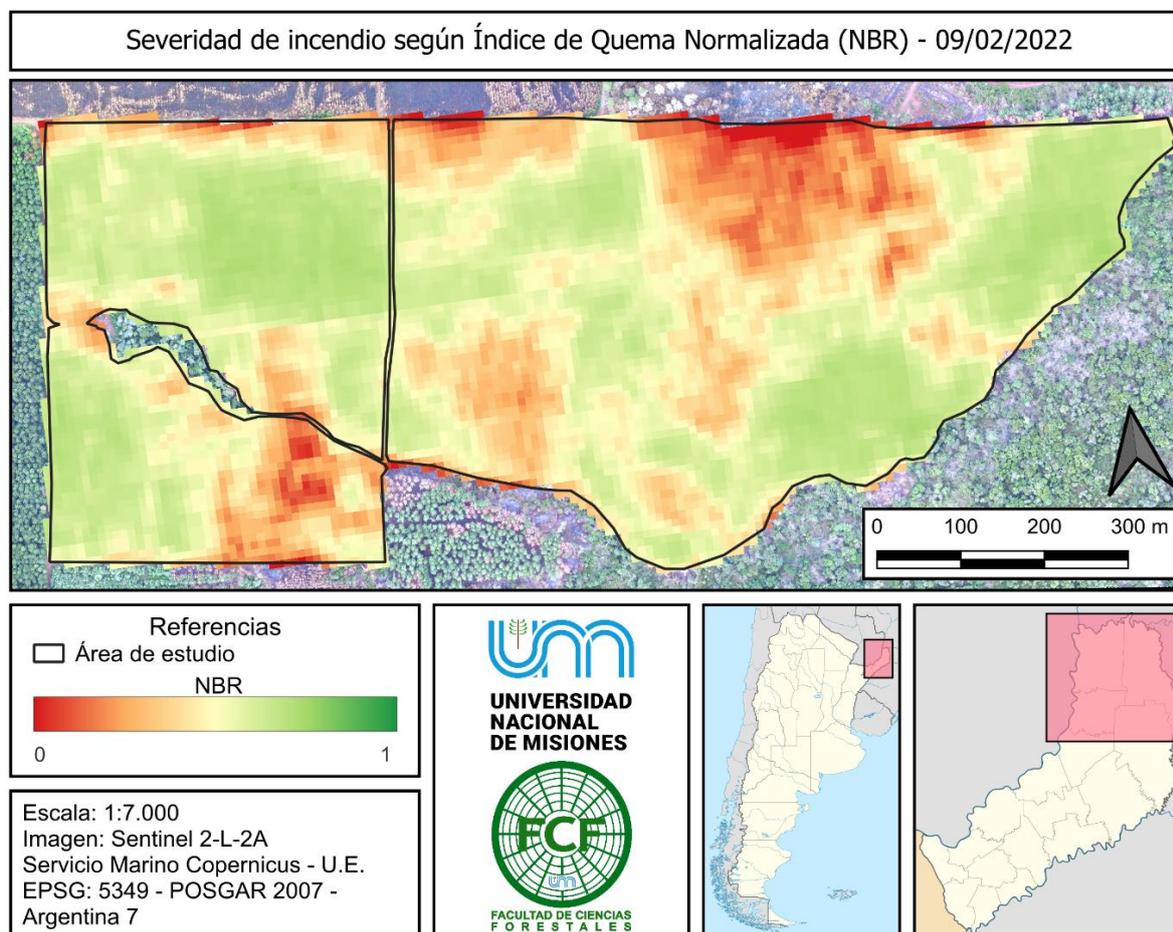


Figura 3. Mapa de severidad de incendio calculado por medio la plataforma Copernicus – S2A.

La imagen nos permite ver coincidencia entre ambas “metodologías” de identificación de áreas afectadas por los incendios, pero a diferencia del relevamiento con dron, es posible identificar áreas más o menos afectadas. Esto no quita la necesidad de un relevamiento y constatación a campo, pero sí nos permite puntualizar sectores para llevar a cabo visitas y poder obtener conclusiones más sólidas de los daños ocasionados a la forestación.

4. CONCLUSIONES

El análisis por medio de drones y satélites permite identificar de manera eficaz y objetiva el área afectada. No obstante, la imagen del dron no permite diferenciar con claridad la severidad del incendio, pero permite tener una mejor “visual” del área, como por ejemplo la identificación de las copas individuales de los árboles (debido a su resolución espacial).

El cálculo del índice permite focalizar esfuerzos para futuros trabajos de campo, ya que, puntualizando las áreas más afectadas es posible realizar un análisis de campo dirigido, optimizando de esta manera los esfuerzos (físico, económicos, etc.) de los equipos de trabajo.

Este tipo de análisis permite accionar rápidos mecanismos de intervención en cuanto a las áreas afectadas por incendios en la región. Estos pueden ayudar a la toma de decisiones, tales como el aprovechamiento



temprano de las forestaciones o el apeo para evitar contaminación por algún tipo de plaga, debiéndose ésta a la mortalidad de los individuos afectados.

5. LITERATURA CITADA

- DE SANTIS, A. & VAUGHAN, P. 2009. Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. Recursos Rurales 5: 93-100 pp. IBADER: Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural. ISSN 1885-5547. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/3819/RR_5_7.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LESZCZUK, A. A., LORÁN, D., MARTINEZ, M. E., LEIZICA, J. E., & SEPPI, S. 2022. ESTUDIO DE LOS INCENDIOS OCURRIDOS EN LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA ENTRE DICIEMBRE DEL AÑO 2021 A MARZO DEL AÑO 2022. XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. 212-216 pp.
- MILLER, H.J. & YOOL, S.R. 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data. Remote Sensing of Environment. 82: 481-496 pp. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425702000718>
- MONTEALEGRE, A. L.; LAMELAS, M. T.; TANASE, M. A.; DE LA RIVA, J. 2014. Forest fire severity assessment using ALS Data in Mediterranean Environment. Remote Sensing 6: 4240-4265 pp. DOI: 10.3390/rs6054240.
- MORETTI, M., CONEDERA, M., DUELLI, P., & EDWARDS, P. J. 2006. The effects of wildfire on ground-active spiders in deciduous forests on the Swiss southern slope of the Alps. Journal of Applied Ecology, 43(6): 1097-1106 pp.
- PAUSAS, J. G. 2020. Incendios forestales: Una visión desde la ecología. Los libros de la Catarata. ISBN (CSIC): 978-84-00-09492-8.
- PAUSAS, J. G., & KEELEY, J. E. 2019. Wildfires as an ecosystem service. Frontiers in Ecology and the Environment, 17(5): 289-295 pp.
- PATTERSON, M.W. & YOOL, S.R. 1998. Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques. Remote Sensing of Environment. 65: 132-142 pp. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425798000182?via%3Dihub>



RESPUESTA DIFERENCIAL A LA MICORRIZACIÓN EN PLANTINES DE EUCALIPTO

Mónica B. SAGADIN¹, Carla S. SALTO², Leonel HARRAND²

RESUMEN

Se ha demostrado que los eucaliptos forman relaciones simbióticas tanto con micorrizas arbusculares (HMA) como con ectomicorrizas (ECM) en experimentos de vivero. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de dos fuentes de semillas de *Eucalyptus grandis* ante la inoculación con endo y ectomicorrizas durante la producción de plantas. Los tratamientos consistieron en la aplicación simple y dual de dos inóculos mixtos de HMA (CB y PL) y un inóculo comercial de ECM. El mayor porcentaje de micorrización se encontró en la doble inoculación CB+ECM. Las plantas procedentes del huerto semillero de plantas (HSP) tuvieron mayor micorrización que las plantas del huerto semillero clonal (HSC). No se detectaron diferencias significativas para el diámetro al cuello y el peso seco aéreo para los factores evaluados, no obstante, si hubo diferencias significativas para altura total, peso fresco aéreo y radicular y peso seco radicular. La efectividad de los inóculos (es el potencial que tienen los HMA para mejorar el crecimiento del hospedante) empleados presenta comportamiento diferencial para las variables de crecimiento de *Eucalyptus grandis* que varía con la procedencia de la semilla.

Palabras clave: micorrizas arbusculares, ectomicorrizas, crecimiento, *Eucalyptus grandis*, vivero

1. INTRODUCCIÓN

Eucalyptus es uno de los géneros más cultivados a nivel mundial, y es conocido por su rápido crecimiento y adaptabilidad (Myburg et al., 2014; Vivas et al., 2019). En Argentina, la provincia de Entre Ríos ocupa el tercer lugar a nivel nacional en cuanto a la superficie de bosques cultivados y la especie predominante es *Eucalyptus grandis* representando aproximadamente el 78,8 % de las plantaciones entrerrianas (Dirección General de Estadísticas y Censos de Entre Ríos, 2021).

El establecimiento de una relación simbiótica en eucalipto juega un papel importante en la promoción del crecimiento de las plantas y el aumento de la productividad (Jiang et al., 2024). Algunos estudios indican la presencia de simbiosis entre *E. grandis*, y hongos ectomicorrícicos (ECM); sin embargo, este género también forma simbiosis con micorrizas arbusculares (HMA) o con los dos grupos a la vez tanto en suelos de plantaciones como en condiciones controladas (Brundrett et al., 1996; Oliveira et al., 1997; Adams et al., 2006; Escobar Rodríguez, 2007). Escobar Rodríguez (2007), menciona que las especies del género *Eucalyptus* tienen mejor respuesta a la micorrización en la etapa de viverización con especies del grupo de las endomicorrizas, no obstante, una vez establecidas en terreno estas plantas pueden asociarse también con especies del grupo de las ectomicorrizas.

Se debe tener presente que el tipo de micorrizas formadas puede influir significativamente en el crecimiento de las plantas; en este sentido, se ha demostrado que los hongos ECM aumentan en gran medida el crecimiento de las plántulas de eucalipto, mientras que los efectos de los HMA son menos claros (Adams et al., 2006; Pagano y Scotti, 2006).

En Argentina, no existen antecedentes de la aplicación de HMA en plantas de eucalipto. En este sentido, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de dos fuentes semilleras de *Eucalyptus grandis* ante la inoculación micorrícica con endo y ectomicorrizas durante la producción de plantas en vivero.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales; Unidad de Estudios Agropecuarios, INTA-CONICET (UDEA). Córdoba, Argentina. Contacto: sagadin.monica@inta.gob.ar

² Estación Experimental Agropecuaria Concordia, INTA. Concordia, Entre Ríos, Argentina. salto.carla@inta.gob.ar, harrand.leonel@inta.gob.ar



2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el vivero de la Estación Experimental Agropecuaria de Concordia de INTA, Entre Ríos. Se utilizaron semillas de *E. grandis* peletizadas procedentes de dos fuentes semilleras: huerto semillero de progenies (HSP) y huerto semillero clonal (HSC), ambos, producto del programa de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La siembra se realizó en tubetes cónicos de 100 cm³ de capacidad y se colocaron tres pellets por cavidad que luego fueron raleados para dejar una plántula por envase. El sustrato utilizado fue corteza de pino compostada.

Los tratamientos de inoculación consistieron en el agregado de dos inóculos de hongos formadores de micorrizas arbusculares: CB conformado por *Rhizophagus clarus*, *Funneliformis mosseae*, *Claroideoglossum etunicatum*, *Septoglossum constrictum* y *Rhizophagus intraradices* y PL por *C. etunicatum*, *F. mosseae*, *R. intraradices*, *Claroideoglossum claroideum* y *Diversispora spurca* obtenidos por Sagadin et al. (2018). El inóculo se constituyó como una mezcla de las raíces micorrizadas de las plantas trampa, esporas, hifas y el sustrato utilizado para el crecimiento, en una dosis de 20 g a los dos meses de la siembra. Además, se inocularon plantas con ectomicorrizas de una marca comercial constituido por *Suillus bovinus*, *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma geoster*, con una dosis de 10 ml de solución por planta (0,1 % según recomendación del prospecto). También se incluyeron tratamientos con inoculación dual (HMA + ECM) y plantines control sin inoculación. Durante todo el proceso de producción se realizó la fertilización a media dosis del esquema completo que normalmente se aplica en el vivero.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas de 15 plantas. Al finalizar el ciclo productivo en vivero (a los seis meses), se realizó un muestreo destructivo considerando 5 plantas por cada tratamiento. Se determinaron variables relacionadas al crecimiento vegetativo de los plantines: porcentaje de micorrización en raíces, diámetro al cuello, altura total, peso fresco y seco tanto aéreo como radicular.

Para la determinación del porcentaje de micorrización se realizó la tinción de las raíces tanto para los tratamientos con HMA como para ectomicorrizas, según la metodología propuesta por Phillips y Hayman (1970). Los preparados para cada planta se hicieron por triplicado y se observaron en microscopio óptico, y la determinación de la colonización micorrízica se realizó mediante la técnica de McGonigle et al. (1990).

Para el análisis estadístico se utilizó el programa de Infostat (Di Rienzo et al., 2020) y cuando se detectaron diferencias significativas las medias fueron comparadas por Test LSD Fisher ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La colonización por las micorrizas (tanto endo como ectomicorrizas) en las raíces de *E. grandis* se presentó en todos los tratamientos inoculados (Figura 1). Los mayores porcentajes de micorrización se encontraron en la inoculación dual (endo más ectomicorrizas) y, el tratamiento de CB + ECM fue el de mayor porcentaje (Figura 2A). En las plantas que tenían la aplicación de ambos tipos de inóculo (Endo+Ecto). La participación de los HMA en el porcentaje de micorrización fue mayor que la de su combinación con ECM, pero con una menor participación de estos últimos en el porcentaje total (Figura 2B). Las plantas con el agregado del inóculo comercial de ectomicorrizas fueron las que presentaron el menor porcentaje de micorrización independientemente de la procedencia de la semilla (Figura 2A).

Las plantas procedentes del huerto semillero de plantas (HSP) presentaron mayor porcentaje de micorrización (37,7 %) con respecto a las plantas procedentes del huerto semillero clonal (HSC) (31,7 %).



Figura 1. Raíz de *Eucalyptus grandis* micorrizada con: A) hongos micorrícicos arbusculares y B) ectomicorrizas (Fotos: Mónica B. Sagadin).

Nuestros resultados no son coincidentes con lo indicado por Santos et al. (2001) quienes sugieren una sucesión en la inoculación dual, donde el aumento de la colonización por ECM está acompañado por una disminución de la colonización por parte de los HMA. Por su parte, Malajczuk et al. (1981) y Lapeyrie y Chilvers (1985), demostraron que las micorrizas vesículo arbusculares están presentes en los sistemas radiculares de las plántulas de eucalipto; sin embargo, cuando la planta crece, estas micorrizas se eliminan o disminuyen gradualmente y son reemplazadas por ectomicorrizas en el campo.

Para *E. grandis* se cita valores de porcentaje de colonización dual de 86,8 %; sin embargo, las especies de *Eucalyptus* difieren en cuanto al periodo de tiempo necesario para el establecimiento de las asociaciones micorrícicas y en la proporción máxima de sistema radicular que puede ser colonizado (Santos et al., 2001). De acuerdo con Adams et al. (2006), la colonización de ECM y HMA oscila entre el 10 % y el 95 % y la formación de ECM en *E. grandis* generalmente es menor en los plantines que en los árboles adultos. Por el contrario, las plantas cultivadas en suelos forestales en invernáculos tienden a ser moderadamente micorrícicas arbusculares con niveles variables de formación de micorriza (Adams et al., 2006). Las diferencias observadas en el porcentaje de raíces colonizadas tanto por HMA como por ECM pueden deberse a la competencia entre ambos (Chilvers et al., 1987). A pesar de que el porcentaje de micorrización de las plantas inoculadas con PL y PL+ECM ha sido menor que en aquellas inoculadas con CB (Figura 1), su efectividad es más importante. El inóculo de PL sólo o acompañado por ECM presentó mayor efectividad en la mayoría de las variables medidas.

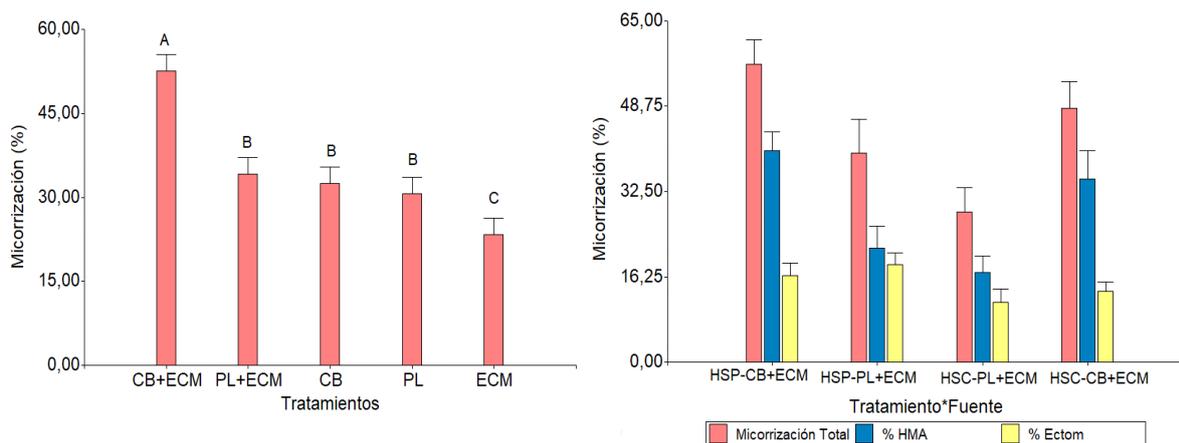


Figura 2. A) Porcentaje de micorrización en plantines de *Eucalyptus grandis*-sin discriminar fuente semillera- de los tratamientos con hongos micorrícicos arbusculares (HMA: CB y PL) y ectomicorrizas (ECM) comercial. B) Conformación del porcentaje de micorrización en los tratamientos duales, para ambas fuentes semilleras evaluadas.

Del análisis de la variancia se desprende que para el diámetro del cuello y el peso seco aéreo no se presentaron diferencias significativas para ambos factores (Cuadro 1). Existe diferencias significativas



a nivel de fuente de semilla para el peso fresco y seco radicular, donde los mayores valores se encontraron en las plantas de HSC. El factor Inoculación fue significativo solamente en la variable peso seco (aéreo y radicular), comportándose mejor el tratamiento PL+ECM, siendo los de menor valor los testigos sin inocular y los inoculados con las ectomicorrizas (Cuadro 1).

La variable Altura Total, fue la única que presentó diferencias significativas en la interacción de los factores inoculación y fuente de semillas. El tratamiento que sobresalió es de las plantas inoculadas con PL sobre plantas del HSC (Cuadro 1).

Mason et al. (2000) registraron una relación negativa entre el diámetro del tallo, el peso seco del tallo y la infección micorrícica, independientemente de las condiciones utilizadas para criar las plántulas. Es importante considerar que una alta colonización micorrícica no siempre se traduce en un mejor desarrollo del huésped (Faye et al., 2013), lo cual ocurrió en nuestro ensayo ya que las plantas con mayor infectividad (capacidad del hongo para penetrar e invadir la raíz y explorar el suelo) no tuvieron un mejor comportamiento en las variables de crecimiento.

Cuadro 1. Parámetros de crecimiento de plantas de *Eucalyptus grandis* micorrizadas de 6 meses. Entre paréntesis, el error estándar. DAC: diámetro del cuello, HT: altura, PFA: peso fresco aéreo, PFR: peso fresco radicular, PSA: peso seco aéreo, PSR: peso seco radicular. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tratamiento	DAC (mm)	HT (cm)	PFA (g)	PFR (g)	PSA (g)	PSR (g)
Fuente						
HSC	3,21 (0,06)	34,47 (0,53)	4,59 (0,12)	3,08 (0,11)	A 1,52 (0,05)	0,64 (0,02) A
HSP	3,20 (0,06)	32,90 (0,53)	4,53 (0,12)	2,75 (0,11)	B 1,46 (0,05)	0,56 (0,02) B
Inoculación						
PL	3,21 (0,11)	35,36 (0,58)	4,68 (0,23) AB	3,05 (0,28)	AB 1,57 (0,09)	0,61 (0,05)
CB	3,25 (0,09)	34,73 (0,90)	4,78 (0,25) AB	2,84 (0,18)	AB 1,52 (0,09)	0,58 (0,03)
ECM	3,06 (0,06)	32,70 (0,83)	4,23 (0,15) B	2,76 (0,11)	B 1,42 (0,06)	0,59 (0,02)
PL + ECM	3,37 (0,10)	33,72 (0,92)	4,92 (0,14) A	3,26 (0,15)	A 1,60 (0,06)	0,69 (0,04)
CB + ECM	3,24 (0,12)	32,30 (0,75)	4,66 (0,22) AB	3,05 (0,19)	AB 1,51 (0,09)	0,60 (0,04)
Testigo	3,07 (0,10)	33,30 (1,36)	4,09 (0,26) B	2,54 (0,19)	B 1,32 (0,09)	0,54 (0,04)
Fuente x Inoculación						
HSC PL	3,22 (0,16)	38,58 (0,82) A	4,65 (0,33)	3,04 (0,39)	1,49 (0,13)	0,59 (0,07)
HSC CB	3,22 (0,13)	36,32 (1,27) AB	4,70 (0,35)	2,76 (0,26)	1,49 (0,13)	0,57 (0,04)
HSC ECM	3,14 (0,08)	33,98 (1,17) BCD	4,36 (0,22)	3,08 (0,15)	1,49 (0,09)	0,68 (0,03)
HSC PL + ECM	3,24 (0,15)	31,88 (1,31) CD	4,62 (0,20)	3,30 (0,21)	1,58 (0,09)	0,72 (0,06)
HSC CB + ECM	3,34 (0,16)	30,98 (1,05) D	4,96 (0,31)	3,52 (0,27)	1,62 (0,13)	0,68 (0,06)
HSC Testigo	3,12 (0,15)	35,06 (1,92) ABCD	4,28 (0,37)	2,80 (0,26)	1,43 (0,13)	0,60 (0,06)
HSP PL	3,20 (0,16)	32,14 (0,82) CD	4,72 (0,33)	3,06 (0,39)	1,64 (0,13)	0,62 (0,07)
HSP CB	3,28 (0,13)	33,14 (1,27) BCD	4,86 (0,35)	2,92 (0,26)	1,55 (0,13)	0,59 (0,04)
HSP ECM	3,04 (0,08)	31,42 (1,17) D	4,10 (0,22)	2,44 (0,15)	1,35 (0,09)	0,51 (0,03)
HSP PL + ECM	3,50 (0,15)	35,56 (1,31) ABC	5,22 (0,20)	3,22 (0,21)	1,63 (0,09)	0,67 (0,06)
HSP CB + ECM	3,14 (0,16)	33,62 (1,05) BCD	4,36 (0,31)	2,58 (0,27)	1,40 (0,13)	0,52 (0,06)
HSP Testigo	3,02 (0,15)	31,54 (1,92) CD	3,90 (0,37)	2,28 (0,26)	1,21 (0,13)	0,47 (0,06)
Factores						
Fuente	ns	*	ns	*	ns	*
Inoculación	ns	*	**	*	ns	ns
Fuente x Inoculación	ns	***	ns	ns	ns	ns

Referencias: ns: no significativo, * = $p \leq 0,05$; ** = $p \leq 0,01$; *** = $p \leq 0,001$

4. CONCLUSIONES

Las plantas de *Eucalyptus grandis* se micorrizaron con la aplicación de HMA y tuvieron buena respuesta en las variables de crecimiento. Los inóculos de los HMA presentaron un mayor porcentaje de micorrización y el mismo aumentó cuando se encontraba asociado a las ECM.



Los inóculos empleados tienen distinto comportamiento al ser aplicados en plantas de *Eucalyptus grandis*. Las plantas HSP presentaron mayor porcentaje de micorrización por ende mayor infectividad pero esto no se vio reflejado en la efectividad de los inóculos ya que las plantas HSC tuvieron mejores valores en altura total, peso fresco y peso seco.

La aplicación dual de inóculos de hongos micorrícicos arbusculares y de ectomicorrizas brindan beneficios a las plantas de *Eucalyptus grandis*.

5. LITERATURA CITADA

- ADAMS, F.; REDDELL, P.; WEBB, M.L., SHIPTON, W. 2006 Arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas on *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) trees and seedlings in native forests of tropical north-eastern Australia. *Australian Journal of Botany* 54(3): 271-281 <https://doi.org/10.1071/BT05028>
- BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Canberra, ACT, Australia: Australian Centre for International Agricultural Research: 1–374.
- CHILVERS, G.A.; LAPEYRIE, F.F.; HORAN, D.P. 1987. Ectomycorrhizal vs. endomycorrhizal fungi within the same root system. *New Phytol.* 107: 441-448.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- SANTOS, V.L.; MUCHOVEJ, R.M.; CHAER BORGES, A.L.; NEVES J.C.; KASUYA M.C. 2001. Vesicular-arbuscular-/ecto-mycorrhiza succession in seedlings of *Eucalyptus* spp. *Brazilian Journal of Microbiology* 32: 81-86. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822001000200002>
- ESCOBAR RODRIGUEZ, R. 2007. Manual de viverización. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. INNOVA Chile – INFOR. 230 p.
- FAYE, A.; DALPÉ, Y.; NDUNG'U-MAGIROI, K.; JEFWA, J.; NDOYE, I.; DIOUF, M.; LESUEUR, D. 2013. Evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants. *Canadian Journal of Plant Science* 93: 1201-1208. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-32>
- LAPEYRIE, F.F.; CHILVERS, G.A. 1985. An endomycorrhiza-ectomycorrhiza succession associated with enhanced growth of *Eucalyptus dumosa* seedlings planted in a calcareous soil. *New Phytol.*, 100: 93-104. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1985.tb02761.x>
- MALAJCZUK, N.; LINDERMAN, R.G.; KOUGH, J.; TRAPPE, J.M. 1981. Presence of vesicular-arbuscular mycorrhizae in *Eucalyptus* spp. and *Acacia* sp., and their absence in *Banksia* sp. after inoculation with *Glomus fasciculatus*. *New Phytol.*, 87: 567-572. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1981.tb03227.x>
- MASON, P.A.; IBRAHIM, K.; INGLEBY, K.; MUNRO, R.C.; WILSON, J. 2000. Mycorrhizal development and growth of inoculated *Eucalyptus globulus* (Labill.) seedlings in wet and dry conditions in the glasshouse. *Forest Ecology and Management* 128 (3): 269-277. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00155-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00155-3)
- MYBURG, A.; GRATTAPAGLIA, D.; TUSKAN, G. et al. 2014. The genome of *Eucalyptus grandis*. *Nature* 510: 356–362. <https://doi.org/10.1038/nature13308>
- PHILIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. 1970. Improved procedures for clearing rots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 5:158-161. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- VIVAS, M.; ROLO, V.; WINGFIELD, M.J.; SLIPPERS, B. 2019. Maternal environment regulates morphological and physiological traits in *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management* 432: 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.016>
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. Gobierno de Entre Ríos. 2021. Informe del sector forestal Entre Ríos. 14 p. Disponible en: <https://www.entrerios.gov.ar/dgec/wp-content/uploads/2022/12/Informe-forestal-2021.pdf>
- SAGADIN, M.B.; MONTEOLIVA, M.I.; LUNA, C.M.; CABELLO, M.N. 2018. Diversidad e infectividad de hongos micorrícicos arbusculares nativos provenientes de algarrobales del Parque Chaqueño argentino con características edafoclimáticas contrastantes. *Agriscientia* 35(2): 19-33. DOI: <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v35.n2>
- JIANG, Y.; MO, X.Y.; LIU, L.T.; LAI, G.Z.; QIU, G.W. 2024. Changes in the arbuscular mycorrhizal fungal community in the roots of *Eucalyptus grandis* plantations at different ages in Southern Jiangxi, China. *J. Fungi* 10(6): 404. <https://doi.org/10.3390/jof10060404>



ESTUDIOS PRELIMINARES DE REPELENCIA DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS

Sergio RAMOS¹, Jorge CASTRESANA¹

RESUMEN

Las hormigas cortadoras de hojas (HCH) constituyen una plaga significativa en las plantaciones forestales de América, afectando especialmente a especies exóticas como los eucaliptos, debido a la falta de coevolución. Investigaciones recientes han explorado el uso de aceites esenciales como estrategias de manejo. Este estudio evaluó la actividad repelente de aceites esenciales de neem; árbol de té; ajo; naranja dulce y lavanda. Además, se analizó la eficacia de un polímero adhesivo y su combinación con aceites esenciales de limón, menta y árbol de té. Aunque los aceites esenciales exhibieron un efecto repelente inicial, este efecto no se mantuvo por más de dos semanas. En contraste, el polímero adhesivo junto con los aceites esenciales mostró una acción repelente prolongada. Se destaca la necesidad de desarrollar estrategias innovadoras para optimizar el manejo de HCH y satisfacer las crecientes demandas de sostenibilidad en la producción forestal.

Palabras clave: *Acromyrmex*, *Atta*, aceites esenciales, polímero adhesivo

1. INTRODUCCIÓN

Las hormigas cortadoras de hojas (HCH) son originarias de las Américas, desde Argentina hasta México. Estas hormigas cosechan hojas y frutos para cultivar hongos de los cuales se alimentan, lo que las convierte en uno de los principales organismos plaga en las plantaciones forestales (Montoya-Lerma et al., 2012). Las forestaciones de especies no-nativas, como el eucalipto, son particularmente vulnerables a las HCH debido a la falta de coevolución con estos insectos (Della-Lucia et al., 2014; Sabatini, 2017; Orians y Ward, 2010; Agrawal, 2011).

El desarrollo social y organizativo de las hormigas limita significativamente las estrategias de control (Dimarco et al., 2017). Se estima que el costo del control de las HCH representa alrededor del 20 % del costo de implantación, incluyendo tanto el control (sistemático y/o dirigido) como la reposición (Egolf et al., 2022). Actualmente, el control se basa en el uso de productos químicos con actividad insecticida como el fipronil y la sulfuramida en formulaciones de cebo, líquidas o en polvo. Sin embargo, el uso de estos productos está cada vez más restringido, lo que impulsa la búsqueda de alternativas más sostenibles desde el punto de vista ambiental y social.

Investigaciones recientes en el marco del proyecto "Evaluación de impacto y estrategias innovadoras para el manejo de hormigas cortadoras de hojas (HCH) en plantaciones forestales de Argentina (BID 2853/OC-AR)", han abordado integralmente la problemática de las HCH en plantaciones forestales. Entre estas investigaciones se ha evaluado la eficacia de estrategias de atracción-repelencia utilizando compuestos de origen vegetal, como los aceites esenciales. En este contexto, se ha identificado y evaluado a campo la actividad repelente del aceite del árbol de té (*Melaleuca alternifolia*) en pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) (Alma et al., 2023)

El presente trabajo retoma esta línea de investigación, ampliando las alternativas de repelencia para el control de la HCH en plantaciones de eucalipto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1

¹ Estación Experimental Agropecuaria INTA Concordia. Ruta prov. 22 y FFCC 3200, Concordia, Entre Ríos. E-mail: ramos.sergio@inta.gob.ar



Se seleccionaron tres nidos activos de *Acromyrmex* sp. y por cada uno se plantaron 30 plantines de *Eucalyptus grandis*, distribuidos uniformemente a un metro del perímetro externo del nido. Se evaluaron cinco aceites esenciales (AEs): neem (*Azadirachta indica*; NE); árbol de té (*Melaleuca alternifolia*; TT); ajo (*Allium sativum*; AJO); naranja dulce (*Citrus sinensis*; NA) y lavanda (*Lavandula angustifolia*; L), además de un control, pulverizado únicamente con agua (Ctrl). La asignación de los tratamientos a los plantines se realizó de manera aleatoria. Para cada aceite esencial, se preparó una dilución de 3 cm³ en un litro de agua destilada. La mezcla fue aplicada mediante un aspersor manual hasta el punto de goteo.

Experimento 2

Se seleccionó un nido activo de *Acromyrmex* sp. donde se evaluaron cinco tratamientos: polímero adhesivo (Pol); árbol de té + polímero adhesivo (TT+Pol); limón (Citrus x limon) + polímero adhesivo (L+Pol); menta (*Mentha piperita*) + polímero adhesivo (M+Pol) y un control (Ctrl) sin aplicación. Los tratamientos se asignaron aleatoriamente a 30 plantines distribuidos uniformemente alrededor del nido. Debido a la consistencia viscosa y pegajosa del polímero adhesivo la aplicación de los tratamientos se realizó manualmente sobre una porción de tallo de 3 cm de longitud a 20 cm de la superficie. En el tratamiento Pol se aplicó solo el formulado comercial (polímero adhesivo 93 %) y en las combinaciones con AEs se mezclaron 5 cm³ de cada componente.

En ambos experimentos se evaluó la supervivencia de la siguiente manera: 0 = no defoliado; 1 = defoliado total. Las observaciones se realizaron durante quince días con una frecuencia de tres días. Se utilizó la prueba de Mantel-Cox (*logrank*) para contrastar las diferencias entre los tratamientos con un nivel de significancia de 0,05, empleando el programa estadístico R (R Core team, 2023).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Experimento 1, las curvas de supervivencia de los plantines de *Eucalyptus grandis* no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$) para ninguno de los nidos evaluados. Esto indica que, a pesar de la aplicación de aceites esenciales, no hubo un efecto diferencial claro en la supervivencia general de los plantines. Sin embargo, se observó un efecto de retraso en el forrajeo en algunos tratamientos en comparación con el control. Este efecto fue particularmente notable en los nidos 1 y 2 (Figura 1)

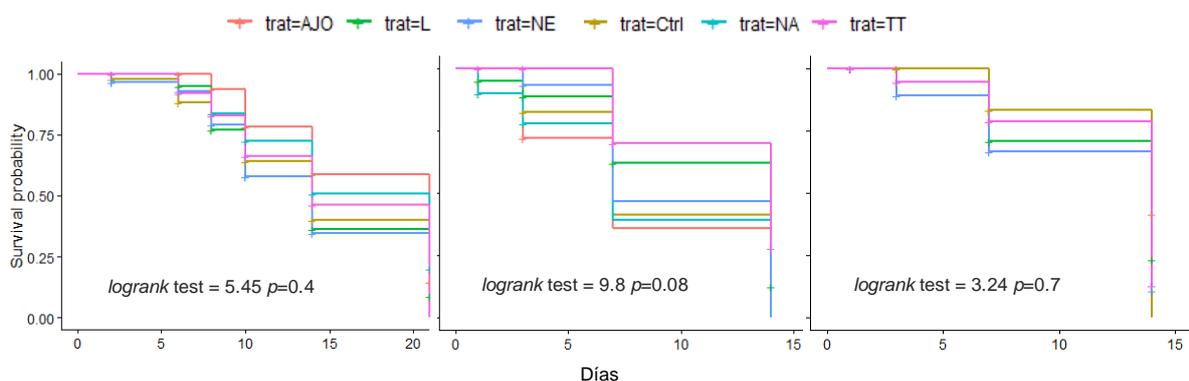


Figura 1. Sobrevivencia a *Acromyrmex* sp. según los tratamientos: neem (NE); árbol del té (TT); ajo (AJO); naranja dulce (NA) y lavanda (L); control (Ctrl). De izquierda a derecha nidos 1, 2 y 3

Aunque los aceites esenciales (AEs) no lograron producir un efecto repelente prolongado que se reflejara en la supervivencia de los plantines de *Eucalyptus grandis*, los datos sugieren que estos tratamientos podrían haber causado una disminución temporal en la actividad de forrajeo de las hormigas cortadora de hojas (HCH), lo que podría ser un indicio de que estos compuestos tienen un efecto repelente inicial, aunque su eficacia a largo plazo es limitada.

Esta falta de efecto duradero puede estar relacionada con la naturaleza volátil de los aceites esenciales, Tras su aplicación, y bajo condiciones normales de presión y temperatura los AEs tienden a perder



rápidamente su actividad repelente en pocos días. Como resultado, las HCH pueden continuar avanzando sobre las plantas que no fueron tratadas, y a medida que los AEs se volatilizan, disminuye la eficacia en las plantas tratadas. Esta volatilización rápida reduce la capacidad de los AEs para mantener un nivel de repelencia efectivo a lo largo del tiempo.

Además, el aceite de árbol de té no mostró un efecto consistente de repelencia hacia las HCH en este estudio, a diferencia de los resultados registrados por Alma et al. (2023), quienes observaron una mayor eficacia en *Pinus ponderosa*. El contraste, en los resultados puede explicarse por las diferencias en las concentraciones de aplicación de aceite esencial. En el estudio de Alma et al. (2003), se utilizó una dosis de 10% de aceite de árbol de té, una concentración bastante elevada que podría potenciar efecto pronunciado y duradero sobre las HCHs, En cambio, en el presente experimento se empleó una dosis significativamente menor, la cual es comúnmente utilizada en productos comerciales basados en aceites esenciales. Esta concentración más baja es preferida en aplicaciones comerciales debido a su eficacia y seguridad, minimizando posibles efectos adversos sobre las plantas o el medio ambiente, además de ser más económico y accesible para aplicaciones a gran escala. Por lo tanto, la elección de esta dosis refleja una intención de replicar condiciones más realistas y prácticas en el manejo integrado de HCHs.

En el Experimento 2 las HCHs, luego de 16 días de evaluación, solo han forrajeado las plantas control mostrando una probabilidad de supervivencia del 100 % de los tratamientos Pol y Pol + AEs frente a un ~ 35 % del Ctrl ($p < 0.05$) (Fig. 2).

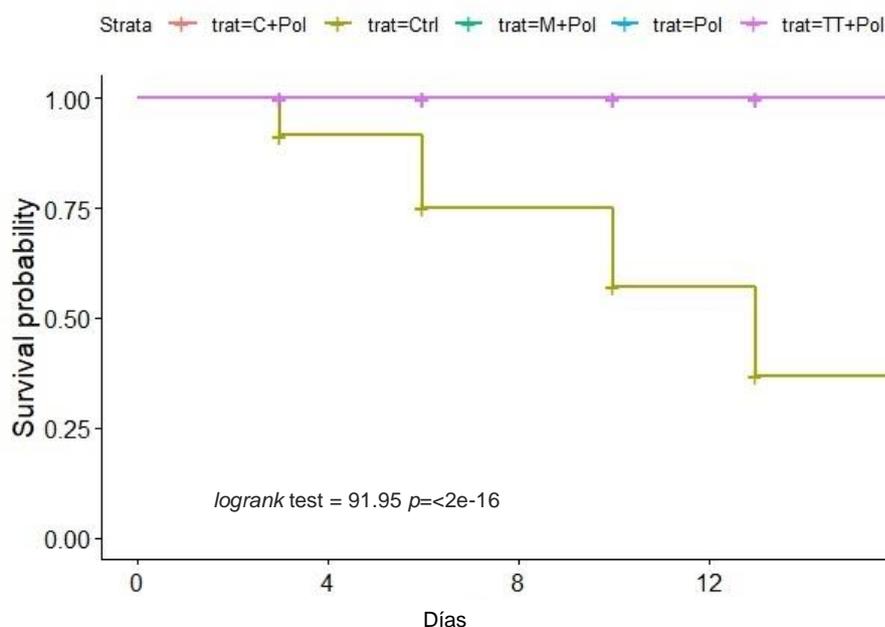


Figura 2. Supervivencia a *Acromyrmex* sp. según los tratamientos: polímero adhesivo (Pol); árbol de té + polímero adhesivo (TT+Pol); limón + polímero adhesivo (C+Pol); menta + polímero adhesivo (M+Pol); control (Ctrl). Aclaración: las curvas de supervivencia de los tratamientos Pol y Pol + AEs están superpuestas

4. CONCLUSIONES

Los aceites esenciales aplicados a la dosis evaluada demostraron cierto efecto repelente inicial, pero su eficacia no se mantuvo en el tiempo, lo que sugiere la necesidad de evaluar otras dosis. Esto se debe a su naturaleza volátil que hace que pierdan rápidamente sus propiedades repelentes bajo condiciones normales de presión y temperatura. En contraste, el polímero adhesivo, tanto en su aplicación única como combinado con los aceites esenciales, registró un efecto repelente que se mantuvo durante el tiempo de evaluación. Esto sugiere que el polímero adhesivo puede proporcionar una protección más duradera contra hormigas cortadoras (HCH) en comparación con los aceites esenciales solos. Para una comprensión de su eficacia y durabilidad, es necesario evaluar el comportamiento a más largo



plazo del polímero adhesivo y las combinaciones con los aceites esenciales. Esto no solo incluye la efectividad continua del control de HCHs, sino también la respuesta y el impacto en la sanidad de las plantas tratadas. Futuros estudios deberían investigar estas variables para desarrollar estrategias de manejo sustentables y efectivas, así como su aplicabilidad en contextos productivos

5. REFERENCIAS

- AGRAWAL, A.A. 2011. Current trends in the evolutionary ecology of plant defence. *Functional Ecology* 25(2): 420-432
- ALMA, A.; FERNÁNDEZ, P.; SERRA, M.; VILLACIDE, J.; BUTELER, M. 2023. Damage reduction of *Acromyrmex lobicornis* in *Pinus ponderosa* using mixed pine species in combination with push-pull tools. *Agricultural and Forest Entomology*. 26. <https://doi.org/10.1111/afe.12607>.
- DELLA LUCIA, T.M.; GANDRA, L.C.; GUEDES, R.N. 2014. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. *Pest Management Science* 70(1): 14-23
- DIMARCO, R.D.; MASCIOCCHI, M.; CORLEY, J.C. 2017. Managing nuisance social insects in urban environments: an overview. *International Journal of Pest Management* 63(3): 251-265
- EGOLF, P.; VILLACIDE, J.; BENITO AMARO, I.; CASELLAS, K. 2022. Percepción de impacto y costos asociados al manejo de hormigas cortadoras de hojas en plantaciones de pino en Misiones y Corrientes. XI Congreso Argentino y XII Congreso Latinoamericano de Entomología - 24 y 28 de octubre 2022, La Plata, Buenos Aires
- MONTOYA-LERMA, J.; GIRALDO-ECHEVERRI, C.; ARMBRECHT, I.; ET AL. 2012. Leaf-cutting ants revisited: towards rational management and control. *International Journal of Pest Management* 58(3): 225-247
- ORIAN, C.M.; WARD, D. 2010. Evolution of plant defenses in non-indigenous environments. *Annual review of entomology* 55:439-459
- R CORE TEAM, 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- SABATTINI, J.A. 2017. Impacto de hormigas cortadoras de hojas en ecosistemas implantados de Sudamérica. Tesis de especialización. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. 77 p.



CARACTERIZACIÓN DEL COLOR DE LA MADERA DE 20 MATERIALES DEL GÉNERO *Eucalyptus* DE ENTRE 6 Y 7 AÑOS

José BAROTTO^{1,2}, Juan Marcelo GAUNA^{2,3}, María Laura TONELLO^{1,2}, Natalia RAFFAELI^{1,2}

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue describir los parámetros de color de la madera de diferentes materiales de *Eucalyptus* implantados en Argentina y establecer un agrupamiento entre ellos en función de esta característica. Se trabajó con 15 muestras de 20 materiales de *Eucalyptus* de entre 6 y 7 años, con diferente grado de mejora genética (especies y clones monoespecíficos e híbridos), a los cuales se les determinó el color en el espacio CIEL*a*b*, analizando la composición de cada uno de los parámetros que conforman este espacio, correspondiendo la mayor variación al parámetro L* (claridad/oscuridad), seguida por el parámetro a* (coloración roja) y, finalmente, el parámetro b* (coloración amarilla). Se computó la matriz de distancias de color entre materiales, mediante el cálculo de ΔE de acuerdo con la metodología CIE 2000 y, a partir de ella, se estableció un agrupamiento de materiales por un método de agrupamiento jerárquico. La metodología empleada permitió asociar adecuadamente a los diferentes materiales en función de las características de su color. Es necesario extender este análisis a otras edades para analizar esta asociación a diferentes turnos productivos y relacionarla con las propiedades de la madera.

Palabras clave: eucaliptos, espacio CIEL*a*b*, CIELab, agrupamiento jerárquico

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de eucaliptos en Argentina ocupa un lugar de preponderancia, ubicándose en el segundo puesto en importancia, detrás del cultivo de pinos, con cerca del 25% de la superficie forestada a nivel nacional (Gorzycki, 2019). Las estimaciones disponibles más recientes, indican que hay aproximadamente 300.000 ha cultivadas con diferentes especies del género *Eucalyptus*, ubicadas principalmente en las provincias mesopotámicas (Entre Ríos, Corrientes y Misiones) y Buenos Aires, que en conjunto concentran más del 90% de la superficie implantada del país (Gorzycki, 2019).

El color de la madera es atribuido sobre todo al contenido y composición de extractivos (Sánchez Acosta y Sepiarsky, 2008), lo cual es determinado por factores relacionados con el cultivo y las condiciones de procesamiento: especie o material utilizado, ubicación (albura o duramen), edad, plano de corte, contenido de humedad, manejo silvicultural y las condiciones edáficas y climáticas imperantes (de Avila Delucis et al., 2016). El color de la madera es una variable de importancia, ya que influye en los diversos usos potenciales de la madera, incluyendo los usos sólidos, para triturado y energía.

Existen diversas maneras de expresar objetivamente el color, una de las cuales es la técnica de colorimetría CIEL*a*b*, creada por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE, por sus siglas en francés), basada en tres parámetros colorimétricos (L*, a* y b*). A partir de estos parámetros es posible cuantificar el color de un material: L* representa el brillo y mide la posición en el eje blanco/negro (0, negro; 100, blanco), a* expresa la posición en el eje rojo/verde (> 0, rojo; < 0, verde) y b* define la ubicación en el eje amarillo/azul (> 0, amarillo; < 0, azul). Este sistema se destaca como el de más amplia difusión, principalmente por su rapidez, facilidad y versatilidad (de Avila Delucis et al., 2016).

¹ Laboratorio de Investigaciones en Madera (LIMAD), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Contacto: jose.barotto@agro.unlp.edu.ar

² Cátedra de Industrias de Transformación Química, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

³ Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.



El objetivo de este trabajo fue describir los parámetros de color de la madera de diferentes materiales de *Eucalyptus* implantados en Argentina y establecer un agrupamiento entre ellos en función de esta característica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal, muestreo y acondicionamiento: se trabajó con material vegetal provisto por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Concordia y por el Instituto de Recursos Biológicos (IRB) del Centro de Investigaciones Agropecuarias INTA Castelar; los materiales contaban con 7 y 6 años al momento del apeo, respectivamente (Cuadro 1). Se obtuvieron rodajas a la altura del DAP de diferente número de individuos, representativos del material considerado, que luego fueron procesadas para obtener cubos de aproximadamente 2 cm de lado, estacionados al aire hasta humedad de equilibrio y, posteriormente, utilizados para las evaluaciones de laboratorio. A fin de obtener una superficie lo más homogénea posible, los cubos fueron lijados en una de sus caras transversales hasta una granulometría de 120.

Cuadro 1. Origen y edad de los materiales evaluados

Orígen	Materiales	Edad
INTA Concordia	<u>Especies:</u> <i>E. grandis</i> HSP (EG), <i>E. dunnii</i> (ED), <i>E. benthamii</i> (BE), <i>E. cloeziana</i> (CL), <i>E. camaldulensis</i> (EC) y <i>E. tereticornis</i> (ET). <u>Clones:</u> <i>E. grandis</i> : EG INTA 36 (EG36), <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> : GC INTA 8 (GC8), GC INTA 9 (GC9), GC INTA 12 (GC12), GC INTA 24 (GC24), GC INTA 27 (GC27). <i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i> : GT INTA 31 (GT31).	7 años
INTA Castelar	<u>Especies:</u> <i>E. sideroxylon</i> (ES), <i>E. viminalis</i> (EV). <u>Clones:</u> <i>E. globulus</i> : GL506, GL515, GL516, GL520, GL526.	6 años

Determinación de color: Se llevaron a cabo determinaciones de color en el sistema CIEL*a*b* 1976, que estima el color mediante el uso de tres coordenadas espaciales: L*, a* y b*. Se realizaron 15 mediciones por cada material, una por cubo, seleccionando aquellos representativos del rango de coloración observado. El color se determinó sobre la cara transversal acondicionada, a la cual se le eliminó todo resto de polvo en la superficie de manera previa a la determinación de color. Se utilizó un espectrofotómetro BYK Gardner Color-Guide 45/0, en el rango espectral entre 400 y 700 nm (visible), con iluminante D65, ángulo de observación de 10° y una apertura de 4 mm de diámetro. Las lecturas se tomaron a una temperatura ambiente de 24 °C y humedad relativa en torno al 80%.

Análisis estadístico: se analizó la variación de los parámetros L*, a* y b* dentro de cada material, computándose los parámetros descriptivos (media, mediana, desvío estándar, máximo y mínimo). Se computó la matriz de distancias de color entre materiales, mediante el cálculo de ΔE de acuerdo con la metodología CIE 2000 (CIE, 2001). A partir de esta matriz, se estableció un agrupamiento de materiales por un método de agrupamiento jerárquico, cuyo nivel de ajuste se estableció a través del coeficiente de correlación entre las distancias establecidas por el ordenamiento y aquellas calculadas a partir de los parámetros de color (ΔE). Este análisis se llevó a cabo mediante el software R (R Core Team, 2024), y las librerías específicas *colorspace*, *factoextra* y *hclust*.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Gráfico 1 puede observarse el patrón de variación del set de muestras utilizado, destacándose una relativa variabilidad en el color de la madera, tanto entre los materiales genéticos como dentro de ellos. Al descomponer el color en los parámetros del sistema CIEL*a*b* (Gráfico 2), se puede analizar esta variación para cada componente de este.

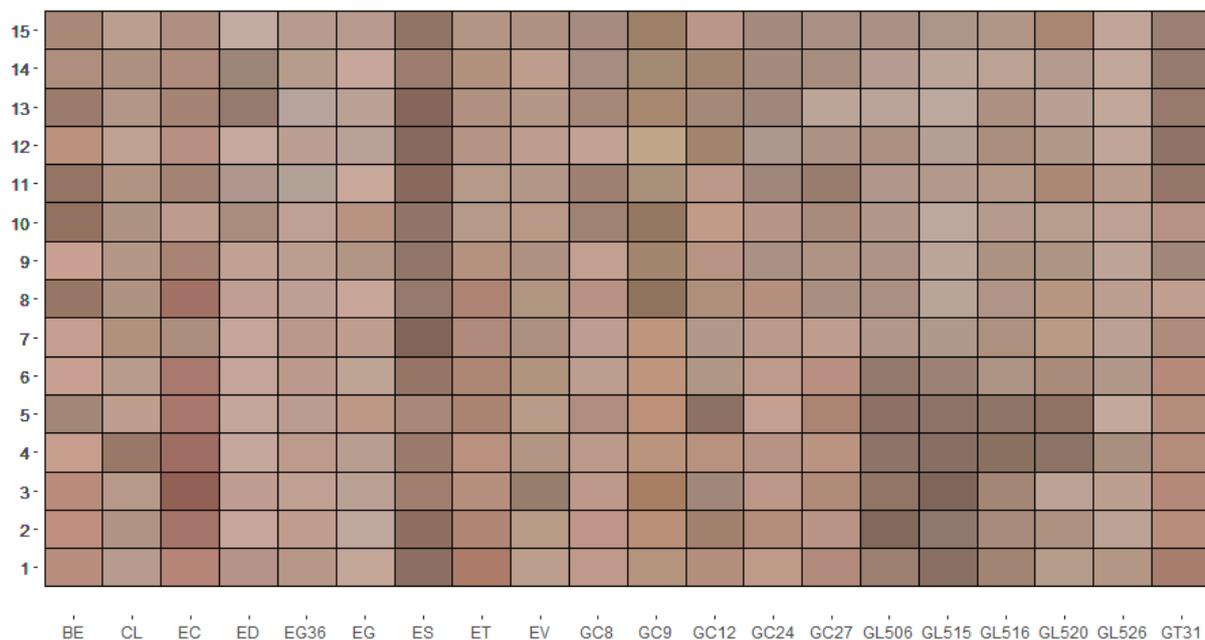


Gráfico 1. Color de las muestras de los materiales de *Eucalyptus* analizados, reconstruido a partir de los valores de L^* , a^* y b^* de cada una.

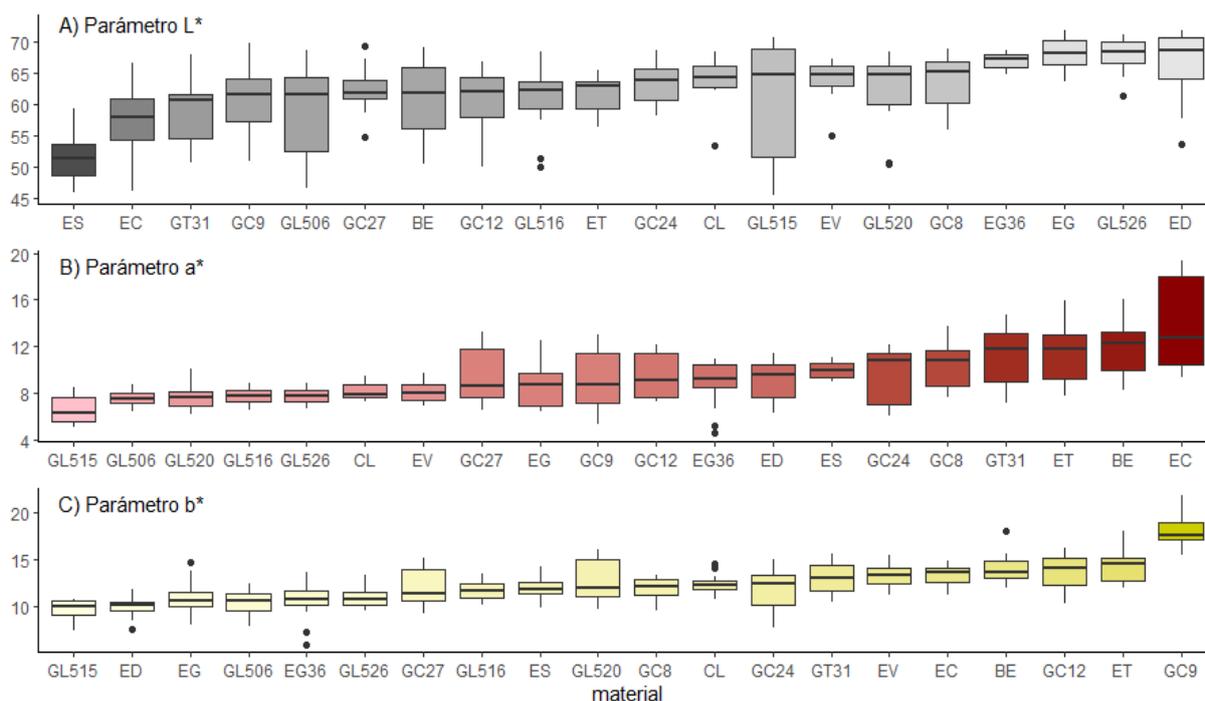


Gráfico 2. Diagrama de cajas para los componentes del espacio CIEL*a*b* para cada uno de los materiales evaluados. Los colores observados son a fines ilustrativos y no representan el valor real del parámetro.

En cuanto al parámetro L^* (Gráfico 2 A), el cual mide la posición en el eje blanco/negro y representa la luminosidad, este presentó una gran variabilidad entre materiales (rango aproximado entre 45 y 72), pero también dentro de los materiales, sobre todo si se compara con los otros parámetros. Se destacaron como los materiales más oscuros *E. sideroxylon*, *E. camaldulensis* y el clon híbrido GT31. Por otro lado, los materiales más claros incluyeron *E. grandis* de semilla, el clon EG36 de esta misma especie, el clon GL526 de *E. globulus* y *E. dunnii*. En cuanto al parámetro a^* (Gráfico 2 B), que expresa la posición en el eje rojo/verde, todos los materiales se ubican en el sector correspondiente al rojo



(todos mayores a 0), con un rango de variación relativamente acotado (aproximadamente entre 5 y 20). Respecto a este parámetro, *E. camaldulensis* se destaca como aquel con mayor aporte del color rojo y variabilidad, seguido por *E. benthamii*, *E. tereticornis* y el clon híbrido GT31. Por otro lado, los materiales con menor presencia de tonalidad rojiza fueron los clones de *E. globulus*, seguidos por *E. cloeziana* y *E. viminalis*, que, a su vez, presentaron un bajo rango de variación. Con respecto al parámetro b^* (Gráfico 2 C), que define la ubicación en el eje amarillo/azul, todos los materiales se ubicaron en la coloración amarilla (mayores a 0), con el rango de variación más acotado tanto entre materiales (aproximadamente entre 8 y 22) como dentro. El híbrido GC9, fue sensiblemente “más amarillo” que los demás, seguido por *E. tereticornis* y el clon híbrido GC12, mientras que los materiales de *E. dunnii*, *E. grandis* y los clones de GL515 y GL506 de *E. globulus* fueron los que presentaron menor influencia de este color.

En el Gráfico 3 puede observarse el resultado del agrupamiento por método jerárquico establecido a partir de las diferencias de color (ΔE) calculadas a partir de los valores de la mediana de cada parámetro para los diferentes materiales. Este análisis permitió diferenciar 8 grupos, de los cuales 3 están conformados por un solo representante.

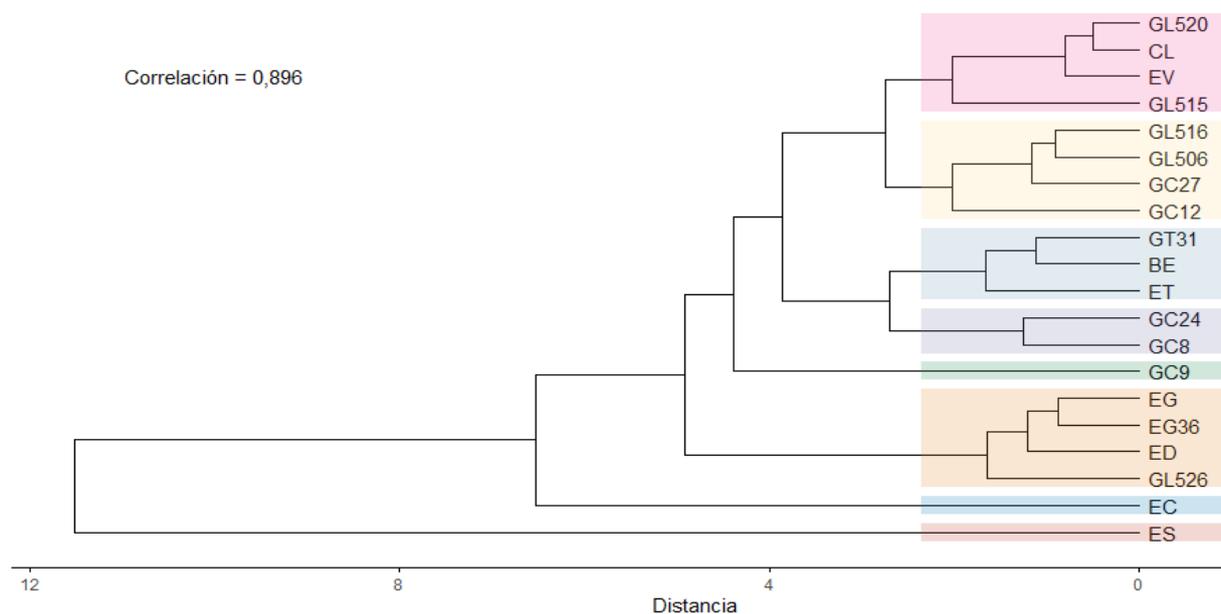


Gráfico 3. Agrupamiento por método jerárquico, basado en la diferencia de color ΔE calculada mediante la metodología CIE 2000 (CIE, 2001).

En este sentido, *E. sideroxylon* se desprendió como el material más diferente al resto (probablemente por su marcada oscuridad), seguido por *E. camaldulensis* (gran preponderancia del rojo). Luego se distingue claramente un grupo de 4 materiales, *E. grandis*, su clon EG36, *E. dunnii* y el clon GL526 de *E. globulus*, caracterizados por ser clones de muy alta claridad y bajo color amarillo. El otro material que se distingue en solitario es el clon híbrido GC9, probablemente por la gran influencia del color amarillo. Los restantes grupos son menos evidentes al analizar la variación de color, destacándose la cercanía de GC8 y GC24 (clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*), otro grupo formado *E. benthamii*, *E. tereticornis* y el clon híbrido GT31 (*E. grandis* x *E. tereticornis*). Por otro lado, los clones GL506 y GL516 y los clones híbridos GC27 y GC12 se ubican dentro de un mismo agrupamiento, de la misma manera que los clones GL515 y GL520 con *E. cloeziana* y *E. viminalis*. El coeficiente de correlación, calculado entre las diferencias de color obtenidas por la metodología CIE2000 y las distancias cofenéticas establecidas por el método jerárquico, fue de 0,896 (~0,9). Mientras más próxima a 1 es esta correlación, la representación obtenida es más cercana a la realidad de los datos, siendo considerados como aceptables los valores mayores a 0,75 (Kassambara, 2017). Es por ello que se concluye que el agrupamiento establecido resulta adecuado y refleja la variabilidad observada. Es necesario destacar que diferentes factores podrían afectar esta asociación, entre los cuales se destacan el uso de secciones longitudinales de la madera, el uso de diferentes granulometrías de lijado



u otro tratamiento superficial, así como la fotooxidación de los componentes de la madera (cuyo efecto fue evitado, en gran medida, por el lijado).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo fue posible observar una relativa variabilidad entre los diferentes materiales evaluados, así como dentro de ellos. Esta variación fue mayor para el componente que representa la luminosidad de los materiales (eje blanco/negro), seguida por el parámetro correspondiente al color rojo y, por último, el color amarillo. El ordenamiento obtenido por el método jerárquico permitió agrupar adecuadamente a los materiales analizados en función de las diferencias de color observadas. Resulta necesario extender este análisis a otras edades, de manera de observar cómo se modifica este agrupamiento en función del color de la madera a medida que nos acercamos a edades correspondientes a diferentes turnos productivos, con el fin de relacionar estas características (no destructivas y de rápida determinación) con las propiedades emergentes de la madera.

5. LITERATURA CITADA

- DE AVILA DELUCIS, R.; HERRERA DIAZ, R.; LABIDI, J.; GATTO, D.A. 2016. Color de la madera de dos eucaliptos expuestas al intemperismo natural en tres entornos ambientales diferentes. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(1): 133-142. DOI: 10.4067/S0718-221X2016005000014.
- CIE. 2001, CIE 142-2001: Improvement to Industrial Colour-Difference Evaluation, Central Bureau of CIE, Vienna, Austria. 15 pp. ISBN 3901906088.
- GORZYCKI, R. 2019. Informes de Cadenas de Valor: Forestal, papel y muebles. Marzo 2019. Año 4 – N° 14. Ministerio de Hacienda. Argentina. 38 pp. ISSN 2525-0221.
- KASSAMBARA, A. 2017. Practical Guide To Cluster Analysis: unsupervised Machine Learning. 1st Edition. STHDA. Statistical tools for high-throughput data analysis. Disponible en: <http://www.sthda.com>
- SANCHEZ ACOSTA, M.; SEPLIARSKY, F. 2008. Tecnología de la madera de eucaliptos colorados: Propiedades – Usos – Posibilidades. Jornada Técnica: Eucaliptos colorados: mejoramiento genético, propiedades y uso de la madera. Programa de Producción Forestal, INIA Tacuarembó, Tacuarembó. 27 de noviembre de 2008.



ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA POTENCIALIDAD DEL COLOR DE LA MADERA COMO VARIABLE PREDICTIVA PARA IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DEL GÉNERO *Eucalyptus*

José BAROTTO^{1,2}, María Laura TONELLO^{1,2}, Juan Marcelo GAUNA^{2,3}, Natalia RAFFAELI^{1,2}

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar la potencialidad predictiva del color de la madera para la identificación de materiales del género *Eucalyptus* implantados en Argentina, mediante el desarrollo de modelos basados en algoritmos de aprendizaje automático. Se trabajó con 15 muestras de 20 materiales de *Eucalyptus* de entre 6 y 7 años, con diferente grado de mejora genética (especies y clones monoespecíficos e híbridos), a los cuales se les determinó el color en el espacio CIEL*a*b*, como también los valores de absorbancia en el rango del espectro visible (400-700 nm). Se probaron dos algoritmos de aprendizaje automático: random forest (RF) y support vector machines (SVM), y se definió como objetivo de la predicción a las especies o híbridos. El modelo desarrollado a partir de RF y los parámetros de color CIEL*a*b* presentó el mejor ajuste, con una exactitud del modelo del 59,7% y un valor de kappa de 0,514, con lo cual puede ser catalogado como moderado. Resulta necesario profundizar este análisis en vista de generar protocolos que permitan su implementación a otra escala, analizando otras secciones de la madera y bajo diferentes tratamientos superficiales.

Palabras clave: *eucaliptos*, *CIELab*, *aprendizaje automático*, *Random Forest*, *Support Vector Machines*

1. INTRODUCCIÓN

En general, la identificación de especies es un proceso laborioso que requiere de mucho tiempo, y para lo cual suele ser necesario cuantificar características anatómicas y estructurales de la madera (Vieira et al., 2022). Estas características deben ser contrastadas con bases de datos que incluyan esta información, las cuales muchas veces no existen, sumado al hecho de que estas características presentan cierto grado de plasticidad fenotípica (Bambil et al., 2020). Es por lo que se torna necesario el desarrollo de técnicas de identificación alternativas, entre las que puede mencionarse el color de la madera. Sin embargo, la clasificación visual por sí sola es altamente subjetiva y puede ser influenciada por diversos factores, como por ejemplo el nivel de iluminación. El uso de colorimetría puede ser una alternativa válida, debido a su rapidez y facilidad de uso (Vieira et al., 2022). En este sentido, Vieira et al. (2019) mostraron la potencialidad de esta técnica para distinguir especies de mirtáceas nativas de Brasil.

Actualmente, existe una gran variedad de algoritmos de clasificación de aprendizaje automático (machine learning), los cuales pueden aplicarse a un mismo set de datos y comparar los resultados en cuanto a su rendimiento y eficacia del proceso clasificatorio (Bambil et al., 2020). Dos de los más ampliamente utilizados son random forest (RF) y support vector machines (SVM). RF clasifica en función de un conjunto de árboles de decisión, mediante la integración de múltiples modelos para resolver el mismo problema, lo cual aumenta la precisión al disminuir la varianza, y la clasificación se define mediante votación, siendo la más común la votación por mayoría (se asigna la categoría asignada por la mayoría de los clasificadores). SVM pertenece a una familia de clasificadores lineales no paramétricos, que busca maximizar la distancia que separa los elementos de dos clases diferentes,

¹ Laboratorio de Investigaciones en Madera (LIMAD), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Contacto: jose.barotto@agro.unlp.edu.ar

² Cátedra de Industrias de Transformación Química, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

³ Instituto de Fisiología vegetal (INFIVE), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.



mediante la definición de un hiperplano óptimo para separar el conjunto de datos en un número discreto de clases predefinidas (Sheykhmousa et al., 2020). Estos y otros algoritmos de aprendizaje automático se han aplicado satisfactoriamente para la identificación de especies a partir de imágenes de hojas (Bambil et al., 2020), árboles (Hu et al., 2018) y de la madera (p. ej.: Rosa da Silva et al., 2022).

El objetivo de este trabajo fue analizar la potencialidad predictiva del color de la madera para la identificación de materiales del género *Eucalyptus* implantados en Argentina, mediante el desarrollo de modelos basados en algoritmos de aprendizaje automático.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal, muestreo y acondicionamiento: se trabajó con material vegetal provisto por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Concordia y por el Instituto de Recursos Biológicos (IRB) del Centro de Investigaciones Agropecuarias INTA Castelar, y los materiales contaban con 7 y 6 años al momento del apeo, respectivamente (Cuadro 1). Se obtuvieron rodajas a la altura del DAP de diferente número de individuos, representativos del material considerado, que luego fueron procesadas para obtener cubos de aproximadamente 2 cm de lado, tanto de la albura como del duramen, utilizados para las evaluaciones de laboratorio. Se seleccionaron 15 cubos por cada material evaluado, representativos del rango de coloración observado y, a fin de obtener una superficie lo más homogénea posible, fueron lijados en una de sus caras transversales hasta una granulometría de 120. Se seleccionó esta granulometría por cuestiones de disponibilidad de tiempo y la naturaleza preliminar de este trabajo.

Cuadro 1. Origen y edad de los materiales evaluados.

Origen	Materiales	Edad
INTA Concordia	<u>Especies:</u> <i>E. grandis</i> HSP (EG), <i>E. dunnii</i> (ED), <i>E. benthamii</i> (BE), <i>E. cloeziana</i> (CL), <i>E. camaldulensis</i> (EC) y <i>E. tereticornis</i> (ET). <u>Clones:</u> <i>E. grandis</i> : EG INTA 36 (EG36), <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> : GC INTA 8 (GC8), GC INTA 9 (GC9), GC INTA 12 (GC12), GC INTA 24 (GC24), GC INTA 27 (GC27). <i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i> : GT INTA 31 (GT31).	7 años
INTA Castelar	<u>Especies:</u> <i>E. sideroxylon</i> (ES), <i>E. viminalis</i> (EV). <u>Clones:</u> <i>E. globulus</i> : GL506, GL515, GL516, GL520, GL526.	6 años

Determinación de color: El color se determinó sobre la cara transversal acondicionada, a la cual se le eliminó todo resto de polvo en la superficie de manera previa a la determinación de color. Se realizó una determinación por cubo ($n = 15$ por material genético), mediante un espectrofotómetro BYK Gardner Color-Guide 45/0, en el rango espectral entre 400 y 700 nm (visible), con iluminante D65, ángulo de observación de 10° y una apertura de 4 mm de diámetro, y estas lecturas se tomaron a una temperatura ambiente de 24°C y humedad relativa en torno al 80%. Se recolectaron los datos de color en el sistema CIEL*a*b* 1976, en particular L^* (eje blanco/negro), a^* (eje rojo/verde), b^* (eje amarillo/azul) y dE^* (diferencia de color de la muestra respecto al patrón de referencia), como también con valores de absorbancia en el rango del espectro visible (400-700 nm), registrados cada 20 nm.

Desarrollo de los modelos y análisis estadístico: se probaron dos algoritmos de aprendizaje automático: random forest (RF) y support vector machines (SVM), y se definió como objetivo de la predicción a las especies o híbridos. En este sentido, los materiales de *E. grandis* de semilla y el clon EG36 fueron considerados como un solo material ($n=30$), al igual que los 5 materiales híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* ($n=75$) y los 5 clones de *E. globulus* ($n=75$). A fin de lograr una representación adecuada, se generó un set de entrenamiento compuesto por el 75% de los cubos de cada material, seleccionados aleatoriamente. A partir de este set se entrenó el modelo, utilizando validación cruzada, con 4 particiones y 100 repeticiones, el cual fue validado frente al 25% de las muestras restantes. Se registró la sensibilidad de los modelos, que refleja el grado de acierto en la predicción de cada material (Aciertos / (Aciertos + Falsos negativos)), así como la exactitud (Aciertos / Total) y el parámetro kappa de Cohen (otra medida de acierto, más adecuada para datos desbalanceados, como en este caso). Todos los análisis se llevaron a cabo mediante el software R (R Core Team, 2024), y la librería específica *caret*.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 2 se detallan los resultados obtenidos por ambos algoritmos de clasificación para cada sistema de color analizado. Es posible observar que el modelo desarrollado a partir de RF para el sistema de color CIEL*a*b* presentó el mejor ajuste de los 4 modelos analizados (2 algoritmos x 2 sistemas de color), con una exactitud del modelo del 59,7% y un valor de kappa de 0,514. En el otro extremo, el modelo desarrollado por SVM para los datos de absorbancia en el espectro visible presentó el ajuste más deficiente (exactitud de 46,3% y kappa de 0,303).

Cuadro 2. Exactitud y parámetro Kappa para los dos algoritmos de clasificación ensayados y para ambos sistemas de color probados.

Algoritmo	Sistema de color	Exactitud	Kappa
Support Vector Machines (SVM)	CIEL*a*b*	49,3%	0,339
	Espectro visible	46,3%	0,303
Random Forest (RF)	CIEL*a*b*	59,7%	0,514
	Espectro visible	49,3%	0,357

En el cuadro 3 se detallan los valores de sensibilidad media de los 4 modelos para cada material analizado, así como el desglose de este parámetro en función del algoritmo (promedio de sensibilidad del algoritmo para ambos sistemas de color) y el sistema de color utilizado (promedio de sensibilidad de ambos algoritmos para cada sistema de color). La sensibilidad media de los 4 modelos nos indica, cuáles fueron los materiales que presentaron un mayor grado de acierto en la clasificación por parte de los modelos. Respecto a este indicador, se destaca, en primer lugar, *E. globulus* (GL), con un 82%, seguido por los híbridos GC con un 57%.

Cuadro 3. Sensibilidad media por material, a nivel general y desglosado por algoritmo y sistema de color.

Material	n	Sensibilidad media	Algoritmo		Sistema de color	
			SVM	RF	CIEL*a*b*	Espectro visible
BE	15	25%	0%	50%	33%	17%
CL	15	0%	0%	0%	0%	0%
EC	15	50%	50%	50%	33%	67%
ED	15	17%	0%	33%	17%	17%
EG	30	43%	36%	50%	50%	36%
ES	15	50%	67%	33%	67%	33%
ET	15	25%	17%	33%	17%	33%
EV	15	25%	0%	50%	50%	0%
GC	75	57%	47%	67%	58%	56%
GL	75	82%	94%	69%	83%	81%
GT	15	17%	0%	33%	33%	0%

En el otro extremo, *E. cloeziana* (CL) fue el material con menor nivel de predicción, ya que ninguna de las probetas testeadas pudo ser correctamente clasificada. Respecto a este punto, en el Gráfico 1 es posible observar que existe una relación directa y significativa entre el número de probetas analizadas y el grado de sensibilidad en la clasificación. Esto nos indicaría que, para obtener modelos más robustos, es necesario incrementar el número de muestras, lo cual es un resultado lógico y esperable. Si observamos el análisis de sensibilidad media por algoritmo, vemos que RF presentó un nivel de ajuste general superior a SVM, así como también para la mayoría de los materiales analizados. A nivel del sistema de color utilizado, el ajuste fue mejor a partir de los parámetros del sistema CIEL*a*b*. Esto es coincidente con lo reportado en el Gráfico 2, donde se observa una relación directa entre los valores del parámetro kappa y la exactitud del modelo para los 4 modelos analizados, destacándose como mejor modelo el que fue desarrollado a partir de RF y los parámetros del sistema de color CIEL*a*b*.

De acuerdo con la clasificación establecida por Landis y Koch (1977) este modelo puede ser catalogado como moderado, mientras que los restantes entran en la categoría de modelos regulares.

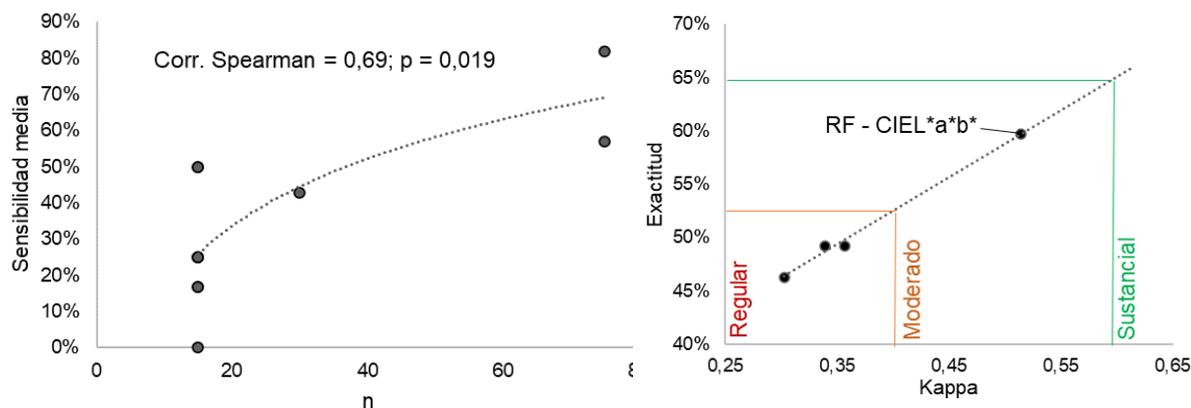


Gráfico 1. Sensibilidad media en función del número de muestras de cada material.

Gráfico 2. Relación entre el parámetro kappa y la exactitud, y clasificación de los modelos.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo permite establecer el potencial de los parámetros de color de la madera como variables predictivas para la identificación de materiales del género *Eucalyptus*. En este sentido, el modelo desarrollado a partir del algoritmo *random forest* y los parámetros de color del sistema CIEL *a*b* presentó un grado de ajuste moderado y alta capacidad predictiva, al menos para ciertos materiales. Se destaca la necesidad de incrementar el número de muestras para lograr modelos más robustos. Finalmente, y en vistas de generar protocolos que permitan su implementación a otra escala, se requiere profundizar este trabajo, analizando otras secciones de la madera y bajo diferentes granulometrías de lijado y/o tratamientos superficiales.

5. LITERATURA CITADA

- BAMBIL, D.; PISTORI, H.; BAO, F.; WEBER, V.; ALVES, F.M.; GONÇALVES, E.G.; FIGUEIREDO, L.F.A.; ABREU, U.G.P.; ARRUDA, R.; BORTOLOTTI, I.M. 2020. Plant species identification using color learning resources, shape, texture, through machine learning and artificial neural networks. *Environment Systems and Decisions*. DOI:10.1007/s10669-020-09769-w
- ROSA DA SILVA, N.; DEKLERCK, V.; BAETENS, J.M.; VAN DEN BULCKE, J.; DE RIDDER, M.; ROUSSEAU, M.; BRUNO, O.M.; BEECKMAN, H.; VAN ACKER, J.; DE BAETS, B.; VERWAEREN, J. 2022. Improved wood species identification based on multi-view imagery of the three anatomical planes. *Plant Methods* 18(1): 79. DOI: 10.1186/s13007-022-00910-1.
- HU, M.; FEN, H.; YANG, Y.; XIA, K.; REN, L. 2018. Tree Species Identification Based on the Fusion of Multiple Deep Learning Models Transfer Learning. 2018 Chinese Automation Congress (CAC), Xi'an, China, pp. 2135-2140. DOI:10.1109/cac.2018.8623484
- LANDIS, J.R. ; KOCH, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159–174. DOI:10.2307/2529310
- SHEYKHOUSA, M.; MAHDIANPARI, M.; GHANBARI, H.; MOHAMMADIMANESH, F.; GHAMISI, P.; HOMAYOUNI, S. 2020. Support Vector Machine Versus Random Forest for Remote Sensing Image Classification: A Meta-Analysis and Systematic Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 13, pp. 6308-6325. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.3026724.
- VIEIRA, H.C.; LOPES DA SILVA, E.; DOS SANTOS, J.X.; BOLZON DE MUÑIZ, G.I.; RIBEIRO MORRONE, S.; NISGOSKI, S. 2019. Wood colorimetry of native species of Myrtaceae from a *Araucaria* Forest. *Floresta* 49(2): 353-362. DOI: 10.5380/ufv.v49 i2.58236
- VIEIRA, H.C.; DOS SANTOS, J.X.; SOUZA, D.V.; RIOS, P.D.E.A.; BOLZON, D.E.; MUÑIZ, G.I.; RIBEIRO MORRONE, S.; NISGOSKI, S. 2022. Applying colorimetry for wood differentiation of fabaceae species grown in southern Brazil. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 24(16). DOI: 10.4067/s0718-221x2022000100416



RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES, RIGIDEZ Y RESISTENCIA EN PIEZAS DE ESCUADRÍAS COMERCIALES DE PINO HÍBRIDO

Rosa A. WINCK^{1,2*}, María C. AREA³, Diego R. AQUINO¹, Hugo E. FASSOLA¹, María E. GAUCHAT¹

RESUMEN

En maderas aserradas de escuadrías comerciales de 15 familias de pino híbrido (*Pinus elliotii* var. *elliotii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) F₁ INTA-PINDO, provenientes de dos ensayos de progenies de 11 años, se registraron características visuales que afectan a las propiedades mecánicas y se determinó el módulo de elasticidad (MOEe) y de rotura (MOR) a la flexión estática. Se evaluaron 274 tablas de 90 rollizos de 3,15 m de longitud, tomados inmediatamente por encima de los 1,3 m de altura. Las tablas se secaron en horno, se registraron sus dimensiones y el contenido de humedad, se evaluaron visualmente y se ensayaron con maquina universal. Las tablas de la sección externa, representando un 46,5 % del volumen evaluado, alcanzaron valores de MOEe y MOR que duplicaron los de las piezas internas. Estas tablas externas presentaron mayor cantidad de anillos por pulgada, una orientación tangencial y ausencia de médula. La madera externa alcanzó valores de propiedades mecánicas que cumplen satisfactoriamente con los requisitos de la clase 2 de las normas IRAM 9662-3 y 9670 para uso estructural.

Palabras clave: Estructural, *Pinus elliotii* var. *elliotii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, propiedades de la madera, calidad.

1. INTRODUCCIÓN

Las especies más utilizadas para plantaciones forestales en las provincias de Misiones y Corrientes son *Pinus taeda* L., *Pinus elliotii* var. *elliotii* Engelm (PEE) y pino híbrido (*Pinus elliotii* var. *elliotii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) de segunda generación (F₂) desarrollado en Australia. El pino híbrido es muy requerido para el cultivo por su crecimiento y sus características en cuanto a rectitud de fuste, diámetro de ramas y estructura de copa (Belaber et al., 2022). La superficie implantada con este material alcanzó al año 2018, alrededor de 21.000 hectáreas (Belaber et al., 2018), y sigue en aumento. A pesar de la amplia difusión en el mercado y la producción de materiales genéticos F₁ y F₂, aún existe escasa información sobre este híbrido interespecífico de primera generación (F₁), en cuanto a las diferentes estrategias de establecimientos, tratamientos silvícolas, propiedades físico-mecánicas y la aplicación de su madera en usos estructurales. Respecto a la resistencia a la flexión de la madera del híbrido F₂ (PEE × PCH) entre 8 y 14 años cultivado en la zona norte de la provincia de Misiones, se registraron valores de MOEe y MOR de 91.694 kg/cm² y 704 kg/cm², respectivamente para probetas clear (Pereyra et al., 2007). Para el híbrido F₁, se realizaron estudios de parámetros genéticos que definen la calidad de la madera (Rotundo, 2021). A su vez, Winck (2023) realizó estudios sobre características anatómicas y la calidad estructural de la madera de distintas familias de pino híbrido F₁ INTA-PINDO. A pesar de los antecedentes existentes para este taxón, es necesario avanzar en estudios de clasificación visual, determinar los grados resistentes según las normas desarrolladas para *P. taeda* y *P. elliotii*, y establecer la relación con el módulo de elasticidad (MOEe) y de rotura (MOR) a la flexión estática, que son fundamentales para usos estructurales.

El objetivo de este trabajo fue realizar una tipificación visual a partir de características observables en tablas aserradas de escuadrías comerciales; determinar el MOEe y el MOR a la flexión estática y establecer la relación entre los parámetros estructurales y visuales de las piezas evaluadas.

¹ INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. *Contacto: winck.rosa@inta.gob.ar

² IMAM, UNaM, FCF, Laboratorio de Tecnología de la Madera, Eldorado, Misiones, Argentina.

³ IMAM, UNaM, CONICET, FCEQYN, Programa de Celulosa y Papel (PROCYP), Posadas, Misiones, Argentina.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado se obtuvo de dos ensayos de progenies de pino híbrido F₁ INTA-PINDO ubicados a los 26° 33' latitud S y 54° 40' longitud O (sitio 1) y a los 26° 09' latitud S y 54° 26' longitud O (sitio 2). A los 11 años se apearon 90 árboles, 45 de cada sitio, teniendo en cuenta la variabilidad en diámetros. De cada árbol se obtuvo un rollizo de 3,15 m a partir de 1,30 m de altura desde el suelo. Estos fueron aserrados obteniéndose un total de 274 piezas, en escuadrías de 3"x3" y 3"x5" (internas) y tablas de 1" y 1 ½" de espesor (externas) de ancho variable. Las piezas fueron identificadas y secadas en cámara. Posteriormente, se determinaron sus dimensiones y el contenido de humedad (CH) con un xilohigrómetro.

Evaluación visual

Para todas las piezas de madera aserrada, se registraron el ancho, la altura de la sección transversal y la longitud. También se registraron observaciones relevantes para la interpretación de los resultados, como la clasificación de la madera en interna o externa, tipos de corte (tangencial, radial, semitangencial), presencia de médula, número de anillos en cada pieza, nudos y resinas. A cada pieza se le asignaron clases de resistencia según las normas IRAM 9662-3 (2015) para tablas e IRAM 9670 (2002) para tirantes. La presencia de una característica o atributo cualitativo (por ejemplo, médula) se indicó con el número 1 (uno) y su ausencia con el 0 (cero).

Evaluación destructiva

El ensayo a la flexión estática se realizó con una máquina electromecánica universal de ensayos DIDACTA® modelo 10407030, de procedencia italiana, con capacidad de 300 kN y una sensibilidad de 300N. Con este equipo se determinó el módulo de elasticidad a la flexión estática (MOEe) y el módulo de rotura (MOR), mediante el software "MetroCom"-Dina 960 xp incorporado al equipo, siguiendo el procedimiento indicado en la norma IRAM 9663 (2013).

Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos, se utilizaron modelos lineales mixtos (Di Rienzo *et al.* 2017) con el software InfoStat®, empleando un nivel de significancia del 5 %. El árbol se consideró como una variable de efecto aleatorio, mientras que los sitios, familias y tipo de pieza (interna y externa) se trataron como variables de efecto fijo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El volumen total de madera tipificada fue de 6,07 m³, 3,25 m³ corresponde a madera de la sección interna del rollizo (53,5 %) y 2,82 m³ a piezas externa (46,5 %). El CH promedio para las muestras evaluadas fue de 13,7 %, que luego fueron corregidos al 12 % de humedad.

Respecto a **la evaluación visual por clases resistentes**, el 83 % (5,04 m³) del volumen de madera tipificó visualmente según las normas IRAM 9662-3 e IRAM 9670, mientras que sólo el 17 % (1,03 m³) fue considerado como rechazo. El 70,5 % del volumen correspondió a la clase 1 (clase 1: 12.000 N/mm² y 18 N/mm² de MOE y MOR, respectivamente) y 12,5 % a la clase 2 (7.000 N/mm² y 11 N/mm² de MOE y MOR, respectivamente).

Con relación a la **clasificación mecánica**, no se detectaron diferencias significativas (p-valor > 0,05) entre sitios, ni a nivel de familia para el MOEe y el MOR a la flexión estática. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas (p-valor ≤ 0,05) según el tipo de pieza (interna o externa), con valores medios más elevados en las piezas externas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática.

Tipo de pieza	MOR (N/mm ²)	MOR* (N/mm ²)	MOEe (N/mm ²)
Externa (46,5% del volumen)	43,6 a	18,4 a	10.090,0 a
Interna (53,5% del volumen)	27,6 b	17,4 b	6.341,0 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05). MOR*: percentil 5% (valor característico).

Estos resultados son consistentes con la literatura sobre pinos resinosos, que indica que la madera lateral de coníferas presenta mejores propiedades físicas y mecánicas en comparación con la madera de la sección interna del rollizo (Winck, 2023).

Según la clasificación mecánica con máquina universal de ensayos, los valores de resistencia (MOR*) de la madera interna y externa superaron a lo establecido por las normas IRAM para la clase 2 (11 N/mm²). Mientras que para la rigidez (MOEe), solo la madera externa alcanzó valores medios que superaron a lo establecido para la clase 2 (7.000 N/mm²), no así para la clase 1 (12.000 N/mm²).

Los resultados indican que la tipificación visual por clases resistentes no fue suficiente para alcanzar grados estructurales mediante la clasificación mecánica. Este inconveniente podría deberse, en parte, a un problema de diseño de las normas, ya que este comportamiento se ha observado también en *P. elliotii* y *P. taeda* de mayor edad que este taxón (Fank, 2018). En dicho estudio se reportó que la presencia de madera de calidad superior (clase 1) fue prácticamente nula para el módulo de elasticidad tal como está definido en las normas IRAM. Sería recomendable considerar un ajuste en el nivel de exigencia del módulo de elasticidad para la clase 1 estipulado en las normas argentinas, o desarrollar una norma específica para el pino híbrido F₁.

Variación del módulo de elasticidad y de rotura según las características visuales

El tipo de corte, tangencial (Tg), semitangencial (Stg) o interno (Int), relacionado a la posición de la pieza dentro del rollizo, afectó el comportamiento mecánico del material estudiado. La madera de corte tangencial presentó propiedades de rigidez y resistencia más elevadas, seguidas por las piezas de corte semitangencial, y en último lugar en la madera de la sección interna del rollizo, que constaba con presencia de médula y resina (Gráfico 1a y 1b).

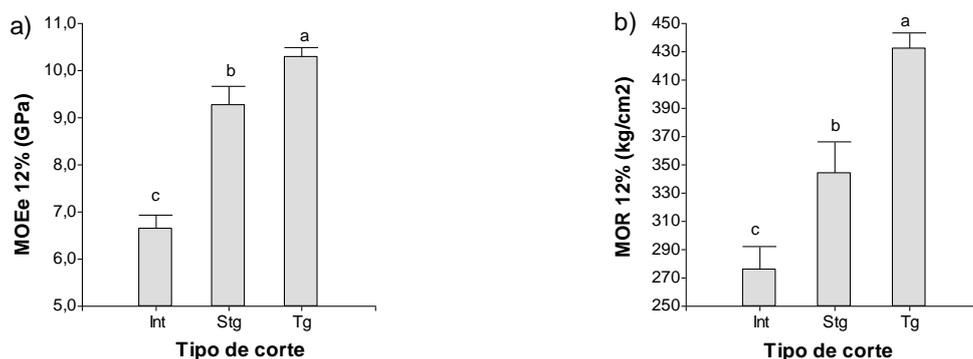


Gráfico 1. Variación del módulo de elasticidad (a) y módulo de rotura a la flexión estática (b) según el tipo de corte. Las barras indican los errores estándares. Medias con letras distintas son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$) para el test de DGC.

A su vez, se determinó que la presencia de médula en las piezas ejerció una influencia negativa sobre las propiedades mecánicas (Gráfico 2a y 2b), afectando en mayor medida al módulo de rotura (Gráfico 2b).

Considerando que en estos ensayos solo se hizo poda a los 4 años, se puede sugerir que la adopción de raleos y podas planificadas, y, con un turno de corta a mayor edad que la evaluada, podrían favorecer la obtención de un mayor porcentaje de madera para uso estructural. El tratamiento de poda contribuye a la disminución de presencia de nudos y a un aumento de las propiedades mecánicas, dado que permite el desarrollo de madera externa libre de nudos (Jones y Emms, 2010; Krajnc et al., 2019; Ruano y Hermoso 2021).

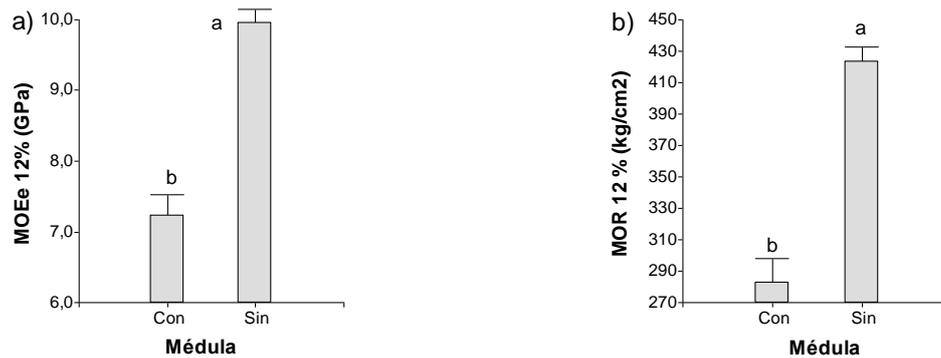


Gráfico 2. Variación del módulo de elasticidad (a) y módulo de rotura a la flexión estática (b) según presencia o ausencia de médula. Las barras indican los errores estándares. Medias con letras distintas son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$) para el test de DGC.

En el Gráfico 3 se puede observar la variación del MOEe (3a) y MOR (3b) en función a la cantidad de anillos presente en la muestra. La cantidad de anillos para una distancia dada, aumentó desde la médula hacia la corteza. Los resultados encontrados confirman que la madera exterior, con una mayor cantidad de anillos por unidad de distancia, es de mejor calidad para uso estructural que la interior.

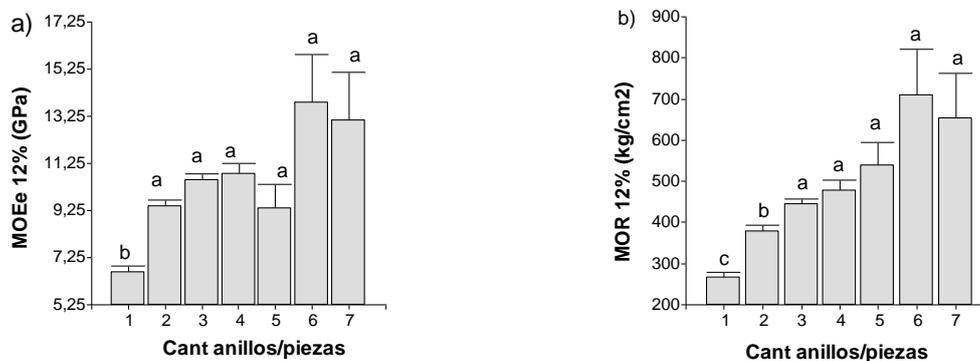


Gráfico 3. Variación del módulo de elasticidad (a) y módulo de rotura a la flexión estática (b) según la cantidad de anillos presentes por pieza. Las barras indican los errores estándares. Medias con letras distintas son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$) para el test de DGC.

Según Donaldson (2008) la madera cercana a la médula presenta un valor de gran ángulo microfibrilar (AMF) respecto al eje del árbol. Este fenómeno justifica los menores valores de resistencia y rigidez encontrados para la madera de la sección interna.

4. CONCLUSIONES

La clasificación visual no fue suficiente para garantizar el grado de resistencia mecánica para componentes estructurales. La proporción de madera del grado superior, según la evaluación con máquina universal, resultó muy baja.

Los valores de módulo de elasticidad estático y módulo de rotura mostraron similitudes entre sitios y familias, pero variaron según el tipo de pieza (interna o externa). La madera externa demostró ser de mejor calidad para uso estructural, con valores superiores de rigidez y resistencia.

Las piezas de escuadrías comerciales de la posición interna del rollizo que contenían médula e infiltraciones de resina afectaron negativamente a las propiedades evaluadas.

El valor promedio de la resistencia de la madera externa se ajusta adecuadamente a los valores de referencia especificados por la norma IRAM para las clases 1 y 2 de resistencia. El módulo de elasticidad estático de la madera externa alcanzó fácilmente la clase 2 adoptada por las normas IRAM.



Para las tablas de corte tangencial, tanto el módulo de elasticidad como el módulo de rotura a la flexión estática fueron mayores en comparación con las piezas de corte semitangencial y las de posición interna.

El módulo de rotura resultó más sensible a la orientación de los anillos de crecimiento que el módulo de elasticidad. Las piezas con mayor número de anillos, aunque de menor ancho, alcanzaron mayores valores de módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática.

La madera libre de médula duplicó prácticamente los valores de módulo de elasticidad y de rotura de la madera en comparación a la madera con médula, afectando significativamente la resistencia.

La madera aserrada de pino híbrido F₁ INTA-PINDO, a los 11 años, alcanzó y superó los valores mínimos de módulo de rotura y módulo de elasticidad a la flexión estática exigidos por las normas IRAM, permitiéndole formar parte de la clase 2 de resistencia en piezas de escuadrías comerciales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Pindó S.A. y al Proyecto INTA 2019-PE-E6-I146-001 por el apoyo brindado para desarrollar la investigación. A los técnicos de INTA (Cristian Rotundo, Tomás Häberle, Diego Bogado y Otto Knebel), por la cooperación en las tareas de campo.

5. LITERATURA CITADA

- BELABER, E.; WINCK, R.A.; GAUCHAT, M.E.; ROTUNDO, C.; BULMAN, C.; FASSOLA, H.E. 2022. Productividad, calidad potencial de rollizos y características de la canopia en taxones de pinos en Misiones, Argentina. Artículo 293 en Revisión Revista Quebracho. FCF-UNSE. Pp 12.
- BELABER, E.C.; GAUCHAT, M.E.; REIS, H.D.; BORRALHO, N.M.; CAPP, E.P. 2018. Genetic parameters for growth, stem straightness, and branch quality for *Pinus elliotii* var. *elliottii* *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F₁ hybrid in Argentina. *Forest Science*, 64(6):595-608.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.R.C.W. 2020. InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DI RIENZO, J.A.; MACCHIAVELLI, R., CASANOVES, F. 2017. Modelos lineales mixtos. Aplicaciones en InfoStat. 253 p.
- DONALDSON, L. 2008. Microfibril angle: Measurement, variation and relationships - A review. *IAWA J.* 29(4):345–86.
- FANK, P.Y. 2018. Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliotii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concepción del Uruguay; 2018.
- IRAM 9662-3.2015. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y ellioti (*Pinus taeda* y *elliottii*). Inst argentino Norm y Certificación, Buenos Aires.1–15.
- IRAM 9663. 2013. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM 9670. 2002. Madera estructural. Clasificación y requisitos. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos del noreste argentino mediante una evaluación visual. Inst argentino Norm y Certificación, Buenos Aires.1–52.
- JONES, T.G.; EMMS, G.W. 2010. Influence of acoustic velocity, density, and knots on the stiffness grade outturn of radiata pine logs. *Wood Fiber Sci.* 42(1):1–9.
- KRAJNC, L.; FARRELLY, N.; HARTE, A.M. 2019. The influence of crown and stem characteristics on timber quality in softwoods. *Forest Ecology and Management* 435: 8-17.
- PEREYRA, O.; SUIREZS, M.T.; BOBADILLA, E.A.; REDKA, L.; KAHLSTORF, E. 2007. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la Madera del híbrido *Pinus elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y su comportamiento en la elaboración de productos remanufacturados. Proyecto UNAM. Código ISIF: II – 15. Código Incentivo: 16/F064.
- ROTUNDO, C.A. 2021. Estimación de parámetros genéticos de la calidad de la madera en árboles de pino híbrido (*Pinus elliotii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) utilizando metodologías no destructivas. Tesis de maestría.
- RUANO, A.; HERMOSO, E. 2021. Juvenile-mature wood evaluation along the bole considering the influence of silvicultural treatments. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 23.
- WINCK R.A. 2023. Calidad estructural de la madera de pino híbrido F₁ *Pinus elliotii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* basada en métodos no destructivos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Pp. 222. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/14834>.



EVALUACIÓN DEL RAJADO EN ROLLO DE MATERIALES CLONALES Y DE SEMILLA DE *Eucalyptus*

Matias S. MARTINEZ¹, Ciro A. MASTRANDREA¹, Leonel HARRAND¹, Johanna S. BAEZ¹

RESUMEN

Este trabajo preliminar presenta los resultados de la evaluación del índice de rajado en rollos de clones híbridos *Eucalyptus*, *Eucalyptus grandis* (EG HSP) y *Eucalyptus dunnii* (ED) de 6 años, analizando el rajado en la cabeza de lo trozas el cual se relaciona con las tensiones de crecimiento. Se seleccionaron 5 individuos por material genético, los que fueron trozados a diferentes alturas (0,3 m; 1,3 m; 2 m y cada 2 m hasta 10 cm de diámetro). Se tomaron fotografías de cada uno de los extremos de los rollos, utilizando para este trabajo, aquellas imágenes pertenecientes a los 1,3 m y 4 m, de las 72 horas post-apeo para medir el índice de rajado en rollos/trozas (IRr). Los análisis de ANOVA mostraron que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de IRr de los individuos evaluados. Se observaron valores extremos de las tensiones de crecimiento entre los clones GC INTA 12 y GC INTA 27, siendo este último el que presentó valores superiores. A mayores tensiones de crecimientos, se obtienen menores rendimientos de producción de productos sólidos de madera.

Palabras clave: *rajado, clones híbridos, calidad de la madera, variabilidad genética.*

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina existen 1.322.000 hectáreas de plantaciones forestales, compuestas principalmente por especies de rápido crecimiento, donde los eucaliptos representan el segundo género de mayor superficie implantada (26,6 %), a nivel nacional (SSPFyPP, 2023). La actividad Forestal de Entre Ríos se concentra principalmente en plantaciones de eucalipto (78,8 %), ubicándola como tercer polo foresto industrial y primero en *Eucalyptus grandis* a nivel país (SSPFyPP, 2023).

El aprovechamiento de las especies de eucaliptos y sus respectivos clones presenta ciertas limitaciones. Entre las más relevantes están las tensiones de crecimiento asociadas al rápido crecimiento de los árboles, (Richter, 2015). Estas tensiones provocan rajaduras en los extremos de los rollizos, lo que reduce el rendimiento y la rentabilidad del producto (Soares et al., 2024). La liberación de estas tensiones en los árboles recién talados y las rajaduras originadas en los extremos de los troncos, son utilizadas como indicadores para evaluar la intensidad de las tensiones y clasificarlos según este indicador

El interés por esta limitación ha llevado a realizar diferentes investigaciones donde se ha explorado de manera específica la variabilidad en el rajado entre clones de eucaliptos y especies tradicionales como *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* (Oberschelp et al., 2007; López et al., 2018; Martínez et al., 2021). Obteniéndose resultados contrastantes en distintos experimentos, algunos sin diferencias estadísticas entre el rajado de las caras de los extremos de los rollizos y otros donde la evaluación axial del rajado en el fuste fue principalmente distinta en la primera troza (Trevisan et al., 2013; Gonzalez et al., 2014).

El momento de medición de rajaduras, en clones y especies de eucaliptos, y su selección a través de esta característica, puede variar de acuerdo con su tiempo de evaluación, porque se debería esperar la liberación completa de las tensiones (França et al., 2020). Este tipo de estudios en distintos materiales genéticos contribuyen a la selección dentro del programa de mejoramiento genético buscando la obtención de productos de madera de uso sólido, permitiendo seleccionar aquellos con mejores rendimientos al presentar menores rajaduras (Trugilho et al., 2002).

¹ EEA INTA Concordia, Entre Ríos. Contacto: martinez.matias@inta.gob.ar



Con el objetivo de proporcionar nuevas perspectivas para el avance del programa de mejoramiento forestal y evaluar el potencial maderable, en este estudio se analizaron las tensiones de crecimiento de eucaliptos, tanto clonales híbridos como seminales, utilizando el Índice de rajado en rollos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales genéticos empleados correspondieron a 14 clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y 2 materiales seminales, *E. grandis* y *E. dunnii*; de 6 años, pertenecientes a un lote clonal del programa de mejoramiento forestal de la EEA INTA Concordia, ubicado en la provincia de Entre Ríos. El lote se encuentra en coordenadas de 31° 22' 40" S y 58° 6' 49" O, y una altitud de 47 m s.n.m. implantado en 2017 y conformado por parcelas de 45 plantas (9 x 5), con un espaciamiento de 4 m x 2,5 m.

Se seleccionaron 5 individuos por cada material genético, en base a su sanidad, rectitud, diámetro promedio de la parcela y competencia por vecinos homogénea. Cada uno de los árboles fue apeado y trozado a 0,3 m; 1,3 m; 2 m y, a partir de este último, cada 2 metros, hasta obtener diámetros de menos de 10 cm de punta fina.

Una vez efectuados los trozados, se realizó el registro fotográfico en la cara de cada extremo de los rollizos, a las 0 y 72 horas posterior a su apeo. Para evitar la pérdida de humedad y el consecuente secado prematuro, los extremos de los rollizos fueron cubiertos con bolsas plásticas hasta las 72 horas. Mediante las fotografías se determinó el índice de rajado en rollos (IRr), por medio de la fórmula desarrollada por Lima (2000) (Ecuación 1), donde se midió el área de rajado en relación con el área de la misma sección del rollizo sin corteza. Las mediciones se realizaron utilizando el software SIG QGis 3.10. Para este trabajo se presentan los resultados de las rajaduras a las 72 horas, en las alturas de 1,3 m y 4 m.

$$\text{Índice de Rajado (IR)} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{S} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde A_i representa el área de la rajadura i (de 1 a n) y S es la sección transversal de la cara del rollizo.

Se determinaron los estadísticos descriptivos para el índice de rajado (IR). Para esta variable, se modeló a través de un modelo mixto lineal generalizado con función de distribución log-normal (Bates et al., 2015; Pinheiro y Bates, 2000). Previamente se llevaron a cabo pruebas para verificar el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se determinó al árbol como factor aleatorio y los materiales genéticos como factor fijo. Se consideró la comparación de medias utilizando la prueba test de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los datos atípicos fueron excluidos del análisis para mantener la integridad de los resultados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mayor promedio de IR se observó en el material GC INTA 27, con un valor de 1,01. Esto es 3,1 veces mayor que el promedio de IR del EG HSP. En comparación con el material puro de *E. dunnii*, el IR del híbrido GC INTA 27 es 2 veces mayor (Cuadro 1).

El IR con menor promedio corresponde al GC INTA 12, con un valor de 0,31 y una variación del 14 %. En comparación con el EG HSP, su promedio es 6 % menor. Además, se observó un promedio menor del 37 % con respecto al *E. dunnii*.

Los resultados obtenidos a través de ANOVA, mediante el modelo utilizado, expresaron un valor de probabilidad de 0.06978 mayor al valor de significancia utilizada ($p > 0.05$), es decir, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de IR de los materiales genéticos evaluados. Sin embargo, está cerca del umbral de 0.05, lo que indica que hay una tendencia hacia la significancia. Esto permite observar que la genética de los materiales clonales y de semillas podría estar incidiendo en los valores obtenidos de los índices de rajados.



Cuadro 1. Resumen estadístico de índice de rajado a las 72 h. Número de individuos (n); Promedio aritmético; Desvío Estándar (D.E.); Coeficiente de variación (C.V.); valor mínimo (Min.) y máximo (Max.).

Materiales Genéticos	n	Promedio	D.E.	C.V. (%)	Mín.	Máx.
GC INTA 12	4	0,31	0,04	14	0,25	0,36
EG HSP (<i>E. grandis</i> seminal)	4	0,33	0,08	24	0,22	0,41
GC INTA 24	5	0,39	0,09	24	0,30	0,50
GC INTA 9	4	0,44	0,11	25	0,30	0,55
GC INTA 128	4	0,45	0,10	22	0,31	0,54
GC INTA 135	4	0,48	0,09	20	0,36	0,58
ED (<i>E. dunnii</i> seminal)	5	0,49	0,14	28	0,31	0,63
GC INTA 99	5	0,49	0,23	47	0,24	0,80
GC INTA 8	5	0,49	0,23	46	0,33	0,85
GC INTA 118	5	0,55	0,16	28	0,33	0,71
GC INTA 59	5	0,56	0,40	72	0,21	1,20
GC INTA 88	5	0,62	0,31	51	0,29	1,00
GC INTA 92	4	0,66	0,16	25	0,51	0,84
GC INTA 134	4	0,76	0,18	24	0,57	1,00
GC INTA 117	5	0,80	0,39	49	0,36	1,23
GC INTA 27	5	1,01	0,86	85	0,32	2,35

En el Gráfico 1 se presenta las medias ajustadas al modelo de IR de los distintos materiales genéticos. Se observó una amplia variabilidad de los datos, principalmente para los clones GC INTA 92, GC INTA 117, GC INTA 134 y GC INTA 27.

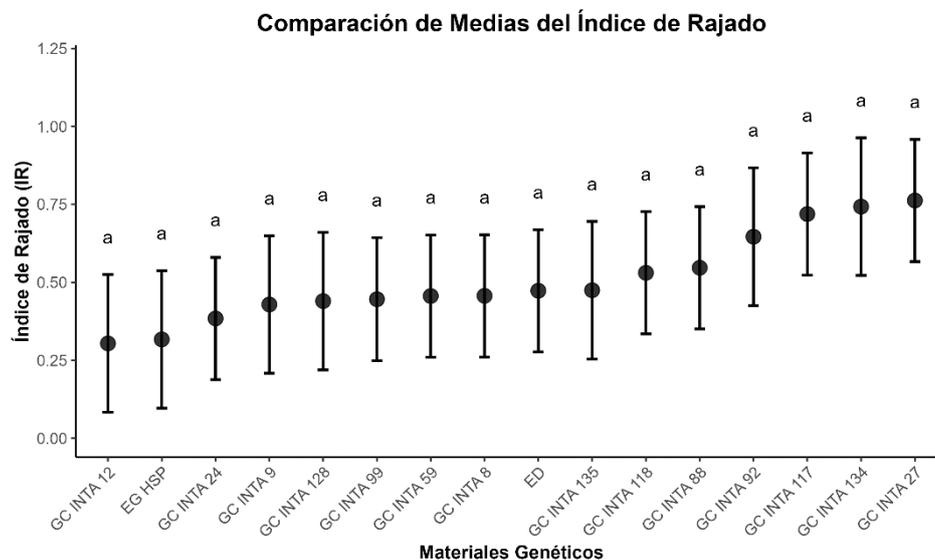


Gráfico 1. Comparación de medias ajustadas de índice de rajado (IR) de los diferentes materiales genéticos. Las barras indican el error estándar.

Braz et al. (2017), mencionan que las tensiones de crecimientos, expresada a través de las rajaduras, están relacionadas con los factores genéticos y ambientales. Aquellos materiales con menores rajaduras presentan mejores rendimientos para la producción de productos de madera sólida (Trugilho et al., 2002).

Los valores en este ensayo de *E. dunnii* son menores a los encontrados en árboles de la misma especie de 17 y 20 años reportado por González et. al. (2014) y López et. al. (2016), respectivamente. Similares comportamientos para *E. grandis*, con respecto a árboles de 21 años obtenido por Lima et al. (2023); estos resultados se podrían deber a la diferencia de edad y los diferentes sitios de cultivo. López y



López (2013), determinaron para clones de *E. grandis* en evaluaciones diferidas en edades del IR, que el ordenamiento relativo de los clones evaluados en edades juveniles sería suficiente para su clasificación por esta característica, como se realiza en la selección indirecta para caracteres de crecimiento, forma y densidad de la madera.

López et al. (2018), observaron similares valores para la misma edad en EG HSP y donde los clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* presentaron una tendencia similar, en la que GC INTA 27 resultó con diferencias significativas en índice de rajado con respecto al GC INTA 12 y EG HSP. Para la edad de 14 años se obtuvo valores superiores en los clones híbridos y materiales seminales (López et al., 2018; Martínez et al., 2021).

França et al. (2020), concluyeron que para clones de *Eucalyptus* la selección a través del IR se debe realizar después de 7 días de cosecha, cuando toda la tensión ha sido liberada. En otros trabajos también se observó que el IR, se incrementa con el transcurso del tiempo de evaluación (Oberschelp et al., 2007; Gonzalez et al., 2014; Martínez et al., 2021).

4. CONCLUSIONES

Las tensiones de crecimiento, expresadas a través de las rajaduras resultan particulares para cada material genético, presentando mayor o menor variabilidad en determinados clones híbridos.

Los materiales genéticos evaluados no presentaron diferencias estadísticas con respecto a las tensiones de crecimientos, resultando el GC INTA 27 con mayores valores.

Los materiales GC INTA 12 y EG HSP son los que han mostrados menores valores de índice de rajado

A mayores tensiones de crecimientos, se prevé menores rendimientos de productos sólidos de madera, como tablas y tirantes entre otras.

Los resultados expuestos refuerzan el criterio del programa de mejoramiento genético de considerar a las tensiones de crecimiento como un factor importante en la selección de clones e híbridos de *Eucalyptus*.

Las tendencias observadas justifican la realización de estudios adicionales que estén correlacionados con otros factores, como las mediciones a distintas alturas del rajado y la relación con propiedades anatómicas de la madera.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal forestal de la Estación Experimental Agropecuaria Concordia del INTA por su apoyo en el mantenimiento de los ensayos, así como en el muestreo y procesamiento de la madera.

5. BIBLIOGRAFÍA

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. 2015. Fitting linear mixed effects models using lme4. J Stat Softw 67(1):1-48

FRANÇA, F.N.; FRANÇA, F.A.; VIDAURRE, G. 2020. Effect of growth stress and interlocked grain on splitting of seven different hybrid clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. *Holzforchung*, 74(10), 917-926. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0209>

GONZÁLEZ, D.P.; MOGLIA, J.G.; LÓPEZ, J.A.; PECE, M.; LÓPEZ, J.A.(H.); MORENO, R. 2014. Estimación de las tensiones de crecimiento en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* mediante extensómetro e índice de rajado. *Quebracho* Vol.22(1,2):57-65

LÓPEZ, J.A.; LÓPEZ, A.J. 2013. Coeficiente de repetibilidad edad-edad de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis*. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Mnes. Argentina. 23 al 27 de septiembre de 2013. Actas en CD.

LÓPEZ, J.; BORRALHO, N.; LÓPEZ, A.; MARCÓ, M.; HARRAND, L. 2016. Variación genética del índice de rajado de rollizos en *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Ciencia e Investigación Forestal (INFOR)*, 22(2): 23-34.

LÓPEZ, J.A.; MASTRANDREA, C.A.; LÓPEZ, J.A.; HERNÁNDEZ, M.A.; MARTÍNEZ, M.S.; OBERSCHELP, G.P.J.; HARRAND, L. 2018. Tensiones de crecimiento, propiedades físicas, mecánicas y defectos en tablas de clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis* del INTA. XXXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. [Repositorio INTA] <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13905>



- MARTÍNEZ, M.S.; MASTRANDREA, C.A.; WINCK, R.A.; HARRAND, L.; OBERSCHELP, G.P.J. 2021. Evaluación del rajado en rollizos de clones puros e híbridos de *E. grandis*. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. [Repositorio INTA] <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13896>
- OBERSCHELP, G.P.J.; MARCO, M.A.; SANCHEZ ACOSTA, M.M.; MASTRANDREA, C.A. 2007. Propiedades de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. dunnii* Maiden y *E. saligna* Sm. relacionadas a usos sólidos de alto valor. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales, IBEROMADERA 2007, 3 al 5 de Julio, Buenos Aires, Argentina. INTA-INTI-RITIM-INIA de España. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/14623>
- RICHTER, C. 2015. Wood characteristics. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07422-1>
- PINHEIRO, J.C.; BATES, D.M. 2000. 'Extending the Basic Linear Mixed-Effects Model', in mixed-effects models in S and S-PLUS, statistics and computing. Springer, New York, pp 201–270
- SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO Y LA COMPETITIVIDAD FEDERAL. SUBSECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN FEDERAL Y PROYECTOS PRIORITARIOS. 2023. *Forestal, papel y muebles*. Informes de Cadenas de Valor, Año 8, N° 68, ISSN 2525-0221.
- SOARES, L.C. DA S.; MOREIRA, J.C.; BOTEGA, G.P.; CARNEIRO, V.Q.; LAFETÁ, B.O.; DE FIGUEIREDO, I.C.R.; GONÇALVES, F.M.A. 2024. Phenotyping methodologies of log end splitting in *Eucalyptus* (*Eucalyptus* spp.). *Plant Breeding* 1-11.
- TREVISAN, R.; DENARDI, L.; CARDOSO, G.; HASELEIN, C.; SANTINI, E. 2013. Variação axial do índice de rachaduras na base e no topo de toras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Scientia Forestalis*. Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 75-81
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.; MENDES, L.M.; MORI, F.A.; SOUZA, M.A. 2002. Avaliação da Tensão de Crescimento em Clones de *Eucalyptus*. En: *Revista Forestal e Ambiente*. v. 9 . n. 1. p38-44. Brasi



PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Pinus elliotii* Engelm. PROVENIENTE DE MATERIAL GENÉTICO MEJORADO EN LA PROVINCIA DE MISIONES

Estela R. VERÓN¹, Rosa A. WINCK^{2,3}, Adelaida BRAGAÑOLO³, María E. GAUCHAT², Ector C. BELABER²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el peso específico aparente básico (PEAB), la contracción lineal (CL), y los módulos de rotura y elasticidad (MOR y MOE) a la flexión estática y compresión paralela a las fibras en probetas de *Pinus elliotii* provenientes de dos tratamientos: Huerto Semillero Clonal de 16 años, implantado a un distanciamiento de 6 m x 6 m (T1) y Ensayo de Progenies de 24 años, establecido a una densidad inicial de plantación de 3 m x 3 m (T2). Dentro de cada tratamiento se realizó una clasificación del material genético según el ranking de crecimiento superior (R1) e inferior (R2). De la troza basal de 23 árboles, entre los anillos 14 y 16 (para uniformizar la edad) se tomaron probetas y se determinaron diferentes propiedades. Se encontraron diferencias significativas en las propiedades físicas y mecánicas entre tratamientos; con mayores valores medios de PEAB, CL, MOE y MOR a la flexión estática y a la compresión paralela a las fibras para T2. Se determinó que T2 presentó superioridad para todas las variables analizadas. La madera perteneciente al R1 para los dos tratamientos alcanzó valores más elevados para algunas de las propiedades evaluadas.

Palabras clave: *Calidad de la madera, mejora genética forestal, Huerto Semillero Clonal, Ensayo de Progenies.*

1. INTRODUCCIÓN

La superficie forestada para Misiones es de 396.486 ha, donde el género *Pinus* representa el 80,15 % de la superficie forestada, siendo el *Pinus elliotii* Engelm y el *Pinus taeda* L las especies que más se cultivan (MAGyP, 2024). El mejoramiento genético forestal permite obtener de los materiales una mayor productividad por hectárea, mejor calidad del producto y adaptabilidad de especies (Marcó, 2005); pero como consecuencia de lograr dichos beneficios, los árboles de rápido crecimiento desarrollan mayor proporción de madera juvenil, lo que podría afectar las propiedades físico-mecánicas de la madera (Vidaurre et al., 2023). Algunas de las propiedades que definen la calidad o aptitud de la madera y se relacionan con el tipo de producto a obtener son el módulo de elasticidad (MOE), el módulo de rotura (MOR), las contracciones y la densidad básica, siendo esta última un buen indicador de la calidad del producto final a obtener (Lopez, 2009). Al ser *Pinus elliotii* una de las especies que proveen la mayor parte de la madera aserrada destinada al uso estructural en Argentina (Fank et al., 2016), y cuyo material con que se realizan las plantaciones en la provincia de Misiones y Corrientes se obtiene, en gran parte, de semillas del huerto semillero clonal de San Antonio (Genes, 2017), resulta de gran importancia el avance en el estudio de la caracterización físico-mecánica de la madera de dicha especie. El objetivo de este trabajo fue caracterizar física y mecánicamente la madera de la troza basal de *Pinus elliotii* proveniente de un Huerto Semillero Clonal y de un Ensayo de Progenies.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los árboles utilizados corresponden a *Pinus elliotii* provenientes de dos ensayos: Huerto Semillero Clonal (HSC) de 16 años ubicado en la localidad de San Antonio, Misiones, implantado a un

¹ Facultad de Ciencias Forestales - UNaM., Eldorado, Misiones, Argentina.

² INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. Contacto: winck.rosa@inta.gob.ar

³ IMAM, UNaM, FCF, Laboratorio de Tecnología de la Madera, Eldorado, Misiones, Argentina.



distanciamiento de 6 m x 6 m (T1), y de un Ensayo de Progenies (EP) de 24 años, establecido en Puerto Esperanza, Misiones a una densidad inicial de plantación de 3 m x 3 m (T2). En el año 2014 se aparearon 23 árboles en total, 15 del T1 y 8 del T2. Dentro de cada tratamiento se consideraron 2 posiciones del ranking genético de crecimiento: superior (R1) e inferior (R2). De cada árbol se extrajo una troza basal de 0,60 m, esta fue cortada en tablas de 28 mm de espesor. Para uniformizar la edad de los materiales (T1=16 años, T2=24 años), las probetas para los diferentes ensayos fueron tomadas entre los anillos 14 a 16. Para la contracción lineal (CL) se consideró la orientación de los anillos de crecimiento en cada pieza, de modo que se obtuvieron probetas de corte radial, tangencial y longitudinal (IRAM 9543, 1966). De los mismos listones cortados para contracción se obtuvieron las probetas para el ensayo de peso específico aparente básico (PEAB, IRAM 9544, 1973). Para determinar el módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura (MOR) a la compresión paralela a las fibras y la flexión estática se siguieron las especificaciones de la Norma IRAM 9541 (1965) y IRAM 9542 (1965), respectivamente. Se obtuvieron un total de 828 probetas con 6 repeticiones por troza para cada ensayo.

Análisis estadísticos

Una vez finalizados los ensayos, por medio del software InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020), para las variables que cumplieron con el supuesto de normalidad se aplicó el análisis de varianza simple (CL), mientras que las variables que no presentaron distribución normal (PEAB, MOE y MOR a la flexión estática y a la compresión paralela a las fibras) se analizaron con Modelos Lineales Generalizados Mixtos (MLGM). La comparación de medias de las variables de cada tratamiento se realizó con el test "DGC" con un α de 0,05.

Dentro de cada tratamiento, Huerto Semillero Clonal (T1) y Ensayo de Progenies (T2), se establecieron dos niveles, correspondiendo al Ranking 1 (R1) y Ranking 2 (R2) dentro de cada tratamiento, donde la variable Ranking de crecimiento se encuentra anidado dentro T1 y dentro T2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades Físicas

Los valores medios para el PEAB presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, siendo para T1 (Huerto Semillero Clonal) de $0,375 \text{ gr/cm}^3$ y para T2 (Ensayo de Progenies) de $0,560 \text{ gr/cm}^3$. El valor obtenido para T1 resultó inferior al hallado por Gonzales et al. (1992) para *Pinus elliottii* de 13 y 18 años. Los valores medios para el T2 fueron superiores al de otros investigadores (Gonzales et al., 1992; Santini et al., 2000; Winck, 2013).

El valor medio de PEAB fue más elevado fue para T2 (PEAB = 30 % superior a T1), y está asociado a un mayor contenido de tejido leñoso en la pared celular de estos materiales, por ello según Coronel (1994) la madera ofrecerá una mayor resistencia. Este comportamiento podría ser atribuido a la menor densidad inicial de plantación del EP (3 m x 3 m), en comparación a la del HSC (6 m x 6 m). Winck (2013), para *P. taeda* provenientes de distintas densidades iniciales de plantación (1666, 980, 490 y 245 plantas/hectárea), obtuvo menores valores de densidad, módulo de elasticidad y rotura a la flexión estática y compresión paralela a las fibras para el tratamiento de mayor distanciamiento entre plantas (menor número de ejemplares por hectárea). Por otro lado, las diferencias para el PEAB entre tratamientos podrían deberse a un posible efecto del tipo brote (edad) utilizado en el proceso de injertado de planta en el caso del HSC. Se recomienda investigar el efecto de la yema sobre las propiedades de la madera del pie injertado.

En el Cuadro 1 se presenta la comparación de medias del peso específico aparentes básico según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

No se observó diferencia significativa entre los rankings; sin embargo, hay una leve tendencia de valores superiores de peso específico aparente básico para el ranking de crecimiento superior (R1) en ambos tratamientos.

Cuadro 1. Peso específico aparente básico (PEAB) según el ranking genético de crecimiento.

PEAB (g/cm ³)		
Tratamientos	Ranking	Básico
T1	R1	0,38 a
	R2	0,37 a
T2	R1	0,57 a
	R2	0,55 a

Las medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$). Las comparaciones por ranking de crecimiento fueron realizadas dentro de cada tratamiento.

Contracción lineal (estado estacionado al anhidro)

En el Gráfico 1 se comparan las medias para las contracciones del estado estacionado al anhidro, en el sentido axial (Ax), radial (Rd), tangencial (Tg) y volumétrica (Vol) para cada tratamiento.

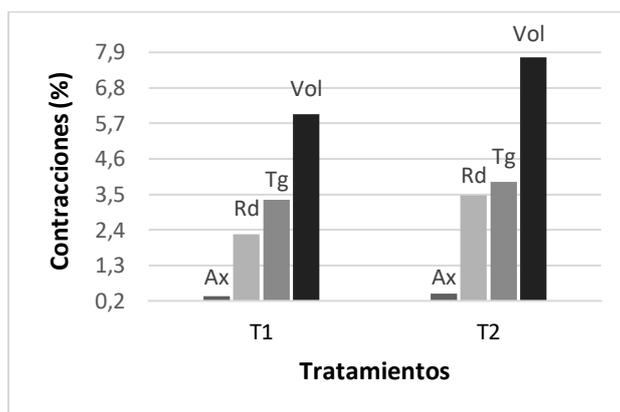


Gráfico 1. Comparación de medias de contracción en el sentido axial (Ax), radial (Rd), tangencial (Tg) y volumétrica (Vol) por tratamiento.

Los valores medios de contracción lineal obtenidos para T1 fueron de 0,34 %, 2,27 %, 3,33 % y 5,99 % y para T2 de 0,43 %, 3,47 %, 3,88 % y 7,74 %, en el sentido Ax, Rd, Tg y Vol, respectivamente. Se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Las muestras provenientes de T2 presentaron mayores valores de contracción. Los valores de contracción obtenidos en ambos tratamientos resultaron superiores a los expresados por Winck (2023) para el pino híbrido de 11 años.

En el Gráfico 2 se presenta la comparación de medias para la contracción lineal axial, radial, tangencial y volumétrica según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

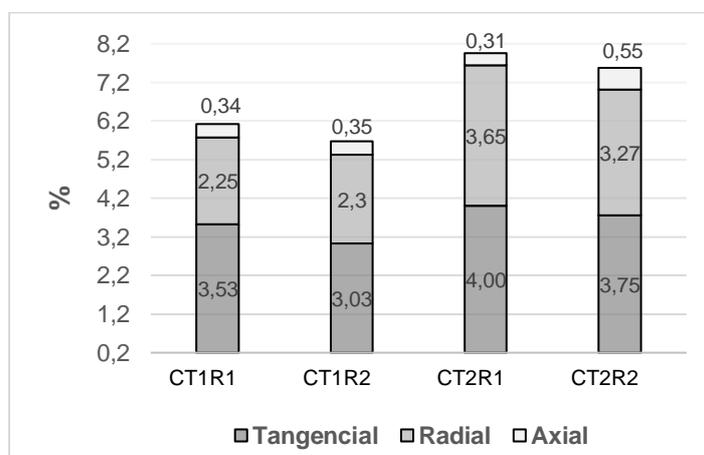


Gráfico 2. Comparación de medias para la contracción axial, radial y tangencial según el ranking de crecimiento por tratamiento. (C: contracción, T: tratamiento, R: ranking de crecimiento).



Para T1 se observó diferencias estadísticas significativas entre rankings para la contracción Tg y Vol. Las muestras del R1 arrojaron valores de contracción Tg y Vol de 14 % y 5 % mayores al R2, respectivamente. En T2 se observaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre rankings de crecimiento para las contracciones lineales. Los valores de contracción para el R1 fueron mayores que en el R2, en 10 % el sentido Rd, en 6 % en el Tg y 6 % en el Vol.

Cabe aclarar que maderas de mayor densidad, debido a que poseen paredes celulares más gruesas, se contraen y se hinchan más en comparación con las maderas de baja densidad (Schulgasser y Witztum, 2015). Además, se observó que las muestras obtenidas del ranking 1 tanto para T1 como para T2, presentaron una tendencia a alcanzar mayores valores de contracción.

Propiedades Mecánicas

Flexión estática

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) para el MOE y MOR a la flexión estática. Los valores de MOE y MOR obtenidos para T1 fueron de 80.898 kg/cm² y 646 kg/cm², respectivamente. Mientras que, para T2 de 122.512 kg/cm² y 1.059 kg/cm² de MOE y MOR, respectivamente. Respecto a T1, se puede observar que el valor tanto de MOR como de MOE obtenido en este trabajo fue superior al encontrado por Moya et al. (2013) para esta misma especie a los 15 años (477 kg/cm² y 52.250 kg/cm²) y al hallado por Santini et al. (2000) para la madera de *Pinus elliottii* de 13 años (555 kg/cm² y 73.266 kg/cm²). El valor del MOR obtenido en este trabajo resultó menor al reportado por González et al. (1992), (MOR 920 kg/cm²), mientras que, el MOE fue muy superior al reportado por estos autores (52.416 kg/cm²). Para el T2 el valor obtenido del MOR fue similar al hallado por Suirezs et al., (2006), y el valor del MOE resultó superior al de todos los trabajos citados en esta investigación (González et al., 1992, Santini et al., 2000, Moya et al., 2013, Ramos et al., 2015, Genes, 2017).

Compresión paralela a las fibras

Los valores medios hallados de MOR y MOE a la compresión paralela a las fibras para T1 fueron de 310 kg/cm² y 21.275 kg/cm² respectivamente. Para T2 el MOR fue de 478 kg/cm² y el MOE de 28.993 kg/cm². El valor de MOR para T1 y T2, resultó superior al compararlo con el obtenido por Santini et al. (2000). Sin embargo, estos autores obtuvieron un mayor valor de MOE a la compresión paralela a las fibras, que el hallado en este estudio.

Según el ranking de crecimiento, tanto para la flexión estática como para la compresión paralela a las fibras, para ambos tratamientos (T1 y T2), de distintas procedencias, se lograron valores superiores para el material correspondiente al ranking superior (R1), aún con distanciamiento entre plantas muy diferentes entre el Huerto Semillero Clonal y el Ensayo de Progenies.

4. CONCLUSIONES

La madera de *Pinus elliottii* proveniente del Ensayo de Progenies (T2) presentó superioridad en las características de su madera en comparación a la madera de *Pinus elliottii* obtenida del Huerto Semillero Clonal (T1), con mayores valores medios para el peso específico, contracción, resistencia y rigidez a la flexión estática y a la compresión paralela a las fibras; esto podría deberse al distanciamiento inicial de plantación o al sitio de procedencia.

En cuanto al análisis según el ranking de crecimiento de las muestras evaluadas se determinó que, en general, los mejores valores para las propiedades físicas y mecánicas estudiadas presentaron los materiales provenientes del ranking superior (R1) para los dos tratamientos (T1, T2), esto indica que sería factible realizar la selección genética de los mejores materiales genéticos por crecimiento y propiedades de la madera de forma simultánea.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Proyecto "Evaluación de propiedades de la madera de árboles mejorados provenientes de un Ensayo de Progenies de pino híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var.



hondurensis (PEE × PCH) y *Pinus elliottii*, y de un Huerto Semillero de *Pinus taeda* y de *Pinus elliottii*. SUIREZS et al. (2015)”, en el cual se enmarcó esta investigación. A los profesionales de INTA, al MSc. Cristian Rotundo y al Ing. Cristian Schoffen, que proporcionaron los materiales para el estudio.

5. LITERATURA CITADA

- CORONEL, E.O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas: Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. El liberal, Santiago del Estero. 187 pp.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- FANK, P.Y.; STEFANI, P.M.; PITER, J.C.J. 2016. Análisis de la relación entre las propiedades mecánicas en flexión y tracción paralela a las fibras en la madera de pino resinoso cultivado en el Nordeste de Argentina.
- GENES, P.Y. 2017. Parámetros genéticos de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelmann (Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales y Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones). 112 p.
- GONZALEZ, R.A.; PEREYRA, O.; SUIRESZ, T. 1992. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* reforestado en la provincia de Misiones, Argentina. *Yvyrareta* 3(3):5-19.
- IRAM 9543.1966. Norma para método de determinación de las contracciones totales, axial, radial y tangencial. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 4p.
- IRAM 9544. 1973. Norma para métodos de determinación de densidad aparente en maderas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 6p.
- IRAM 9542. 1965. Norma para método de ensayo de flexión estática de maderas con peso específico aparente mayor de 0,5 g/cm³. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 6p.
- IRAM 9541. 1965. Norma para método de ensayo de compresión axial de maderas con peso específico aparente mayor de 0,5 g/cm³. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 3p.
- LOPEZ, J.A.; GENES, P.Y.; HERNÁNDEZ, M.; MARCO, M.A.; HARRAND, L.; OBERSCHELP, J. 2009. Propiedades físicas, mecánicas y organolépticas de 10 clones de *Eucalyptus grandis* de 1ra generación del programa de mejoramiento genético del INTA. EEA Bella Vista, Corrientes, Argentina. 24 pp.
- MAGyP. 2024. Plantaciones Forestales - Sistemas de Monitoreo, Inventario y Acceso a la Información. Extraído el 16 de febrero del 2024, de: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-forestal-industrial/inventarios/tablero.php>
- MARCÓ, M. 2005. Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de la Argentina. Mejores Árboles para más forestadores. El Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 9-17.
- MOYA, L.; LAGUARDA, M.F.; CAGNO, M.; CARDOSO, A.; GATTO, F.; O'NEILL, H. 2013. Physical and mechanical properties of loblolly and slash pine wood from Uruguayan plantations. *Forest Products Journal*, 63(3-4), 128-137.
- RAMOS, R.; FANK, P.; GÓMEZ, R.; TORRÁN, E.; PITER, J.C. 2015. Propiedades mecánicas y densidad de la madera de *Pinus elliottii* cultivado en la Mesopotamia. Análisis comparativo entre plantaciones cultivadas en Entre Ríos y Misiones. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia 2016.
- SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. 2000. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, RS, v.10, n.1, p.85-93.
- SCHULGASSER, K.; WITZTUM, A. 2015. How the relationship between density and shrinkage of wood depends on its microstructure. *Wood science and technology*, 49, 389-401.
- SUIREZS, T.M.; PEREYRA, O.; ELGERT, R.R.; MAGNAGO, S. 2006. Propiedades de la madera de *Pinus elliottii* Eng. de 13, 16 y 18 años de edad cultivados en la provincia de Misiones Argentina. IV Congreso Iberoamericano de Chile
- VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L.R.; OLIVEIRA, J.T.D.S.; ARANTES, M.D.C. 2023. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. *Floresta e Ambiente*, 18, 469-480.
- WINCK, R.A. 2013. Influencia del raleo sobre las características anatómicas y las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. de la región noreste de la Argentina. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Misiones. Posadas, Misiones, Argentina. 87 pp.
- WINCK, R.A. 2023. Calidad estructural de la madera de pino híbrido F₁ *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* basada en métodos no destructivos y destructivos. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Misiones. Posadas, Misiones, Argentina. 222 pp.



DURABILIDAD NATURAL EN MADERA JUVENIL DE *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn. ex Woolls): PRIMEROS RESULTADO EN PUDRICIÓN BLANCA

Carla TARABORELLI¹, Dino A. PALAZZINI², Pablo S. PATHAUER³

RESUMEN

El estudio evaluó la durabilidad natural del *Eucalyptus sideroxylon* frente a la degradación fúngica blanca, comparando muestras de madera de 6 y 20 años. El objetivo fue determinar cómo la edad afecta la resistencia de la madera. Las muestras fueron procesadas y sometidas a ensayos de durabilidad siguiendo las normas ASTM D 1413-76 y ASTM D 2017-81/86, utilizando la cepa fúngica *Trametes versicolor*. Después de 90 días de incubación a 25°C, se midió la pérdida de peso para clasificar la resistencia de la madera. Los resultados mostraron que la madera de 6 años tenía una alta pérdida de peso, clasificándola como "no resistente", mientras que la madera de 20 años presentó una mínima pérdida, siendo "altamente resistente". Se concluyó que la durabilidad natural del *Eucalyptus sideroxylon* mejora significativamente con la edad. Se realizarán estudios en edades intermedias y para pudrición castaña, para identificar el turno de corta que equilibre crecimiento, durabilidad y trabajabilidad, optimizando su uso en aplicaciones rurales y reduciendo la presión sobre especies protegidas.

Palabras claves: *edades, degradación fúngica, postes*

1. INTRODUCCIÓN

La madera, como material biológico, sufre degradación por diversos agentes abióticos y bióticos (Zabel y Morrell, 1992). Dentro de los agentes bióticos que causan deterioro, los más agresivos son los hongos, dado que degradan los principales polímeros constituyentes de la madera: celulosa, hemicelulosa y lignina. Los agentes fúngicos causantes de pudrición en la madera se clasifican en pudrición castaña, blanda y blanca, dependiendo de la forma de degradación o ataque a los polímeros mencionados.

De esta manera, los hongos de pudrición castaña (Basidiomicetes) poseen preferencia por la celulosa y hemicelulosa, causando oxidación de la lignina. Aquellos de pudrición blanda (Ascomicetes y Deuteromicetes) no poseen preferencias por los compuestos de la madera, atacando así la celulosa, hemicelulosa y lignina. Por último, los hongos que causan pudrición blanca (Basidiomicetes), también tienen la capacidad de degradar todos los componentes, aunque especialmente, degradan la lignina (componente cementante de la pared celular). Dentro de este tipo de pudrición se pueden diferenciar la pudrición blanca selectiva, degradando primeramente hemicelulosa y lignina, y por último la celulosa; o la pudrición blanca simultánea, donde la degradación de los principales polímeros estructurales sucede al mismo tiempo y en una proporción similar (Mora y Encinas, 2006).

La capacidad del material leñoso para resistir el ataque de agentes bióticos y abióticos se define como "durabilidad" (Zabel y Morrell, 1992). Asimismo, la durabilidad de la madera puede ser natural o adquirida; la primera de ellas es la propiedad de la madera que le permite al material resistir el deterioro causado por agentes bióticos sin tratamientos de impregnación o superficiales (Pathauer y Palazzini, 2021). Del mismo modo, numerosos factores influyen en la durabilidad natural de la madera, como la densidad, si se trata de albura o duramen, la edad del árbol, el sitio de plantación, entre otros (McCarthy y Cookson, 2008).

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP. Contacto: carla.taraborelli@agro.unlp.edu.ar

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP. Contacto: dino.palazzini@agro.unlp.edu.ar

³ Instituto de Recursos Biológicos - INTA. Contacto: pathauer.pablo@inta.gob.ar



Particularmente, el eucalipto es ampliamente utilizado en productos madereros con mayor o menor valor agregado, desde pisos o muebles, hasta postes rurales; es por ello que su durabilidad es crucial para definir su uso. En Argentina, el eucalipto más cultivado es el *Eucalyptus grandis*, el cual, por sus características se utiliza en productos de mayor valor agregado como muebles, hasta postes de tendido aéreo, los cuales son impregnados con CCA. Si bien la impregnación es muy utilizada, el duramen de *E. grandis* es impenetrable debido a sus procesos de duraminización, es por ello que se impregna sólo la albura, otorgándole una durabilidad adquirida parcialmente efectiva, debido a que el duramen se degrada con el tiempo.

Por otro lado, *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn. ex Woolls), es considerado en su lugar de origen como una especie altamente durable, es decir, la madera enterrada o sobre el nivel del suelo posee una durabilidad superior a los 25-40 años (Bush, 2011), siendo uno de sus usos más frecuentes los postes de alambrados, durmientes de ferrocarril, pilotes de muelles y otros usos expuestos a las inclemencias ambientales.

En Argentina la necesidad de productos madereros naturalmente durables es cada vez mayor, no tan solo por la demanda comercial sino también por presiones ambientales que exigen menor utilización de productos potencialmente nocivos para el ambiente y la salud. Particularmente, el sector ganadero está demandando madera de alta durabilidad natural en condiciones de contacto directo con el suelo (postes y rodrgones, entre otros). Si bien existe en el mercado local otras especies de buena durabilidad natural como *E. camaldulensis* (Cookson y Mccarthy, 2013), esta se limita a usos aéreos como varillas y tablas. De esta forma, INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) ha iniciado un programa de mejoramiento genético de *E. sideroxylon*, que incluye materiales salvajes y mejorados de su zona de distribución natural, y familias locales obtenidas a partir de selecciones fenotípicas en rodales ubicados en distintas regiones del país. Dicho material aún se encuentra en estudio. En ensayos preliminares se observaron buenas tasas de crecimiento (Pathauer y Palazzini, 2021) con ejemplares que a los 6 años ya alcanzan escuadrías aptas para producción de postes rurales, pero se desconoce su durabilidad natural.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la durabilidad natural de la madera de *E. sideroxylon* proveniente de individuos de dos edades diferentes, a través de pruebas de degradación fúngica blanca en laboratorio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material leñoso

Se seleccionaron 5 individuos de buen crecimiento, con diámetros a 1.3 m de altura, comprendidos entre 13 cm y 18 cm, de 6 años, en un ensayo de progenies instalado en el predio del CNIA – INTA (Hurlingham – Buenos Aires). Los mismos fueron apeados y se colectaron toretes de 1 m de longitud que contenían como punto central el 1.3 m. Cada troza fue procesada en el aserradero perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (CTM-FCAYF-UNLP) y se obtuvieron cubos de 20 mm x 20 mm x 20 mm, tangencial, radial y axial respectivamente. Para cada árbol se seleccionaron al azar 8 muestras sin distinción de albura/duramen. Junto a las trozas de ejemplares de 6 años, se apeó y procesó un ejemplar de 20 años, que se encuentra en el mismo predio y bajo las mismas condiciones de suelo, siguiendo el mismo procedimiento de aserrado, seleccionando 20 muestras al azar.

Durabilidad

El ensayo de durabilidad se realizó siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D 1413-76 y ASTM D 2017-81/86.

Cepa fúngica

Los ensayos de durabilidad se realizaron con la cepa fúngica *Trametes versicolor* (L) Lloyd (Ceparío – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA). La misma fue repicada en cajas de Petri en un medio de cultivo estéril de agar-extracto de malta al 2 % (MEA 2 %) e incubada en estufa de cultivo a 25 °C y entre 65 y 75 % de humedad relativa hasta obtener un crecimiento óptimo para la inoculación.



Sustrato soporte

Los ensayos de biodegradación se llevaron a cabo mediante la técnica de “soil block” tal como lo indica la norma previamente mencionada. Para ello se preparó un soporte de tierra y arena con una capacidad de retención de agua entre el 20 y el 40 %. De esta manera, a cada frasco de 500 ml se le colocó 55 ml de agua destilada y una mezcla de arena y tierra estéril de 160 g y 40 g, respectivamente. A cada frasco se le añadió un soporte de madera de *Salix* sp. “feeder strips” de 20 mm de lado. Una vez humedecida la madera y cerrados los frascos se esterizaron en autoclave durante 20 minutos.

Inoculación

Realizados los pasos previos de cultivo de cepas y armado de sustrato soporte, se procedió a inocular cada frasco con la cepa fúngica. Consecuentemente se llevó a estufa de cultivo a 25 °C y entre 65 y 75 % de humedad relativa hasta obtener el “feeder strips” completamente cubierto por el micelio fúngico.

De la misma forma, se procedió a inocular la probeta de madera, previamente llevada a contenido anhidro, registrando su peso y esterilizada.

Se realizó a su vez el ensayo de referencia con *Fagus sylvatica*.

Exposición

El material se mantuvo en exposición fúngica durante 90 días a 25 °C y una humedad relativa entre 65-70 %. Una vez cumplido el plazo se extrajo la madera y se obtuvo nuevamente su peso anhidro.

Pérdida de peso

Con el objetivo de clasificar la madera en escalas de durabilidad se obtuvo la pérdida de peso siguiendo la Fórmula 1.

$$Pp (\%) = \left(\frac{P_o (g) - P_f (g)}{P_o (g)} \right) \times 100 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Dónde:

Pp (%): pérdida de peso en porcentaje

P_o (g): peso inicial en gramos antes de exposición fúngica

P_f (g): peso final en gramos después de la exposición fúngica

Cuadro 1. Clasificación de la resistencia de la madera a la degradación fúngica según Norma ASTM D 2017.

Pérdida de peso (%)	Tipo de resistencia
0 - 10	Altamente resistente
11 - 24	Resistente
25 - 44	Moderadamente resistente
> 45	No resistente

Análisis estadístico

Obtenida la pérdida de peso se realizaron análisis descriptivos donde se obtuvieron variables estadísticas básicas como la media, el desvío estándar y el coeficiente de variación. Con el objetivo de comparar los distintos lotes y edades se realizó un análisis comparativo donde se comprobaron los supuestos estadísticos, debido al incumplimiento de estos, se optó por realizar un análisis comparativo no paramétrico de Kruskal-Wallis. Para este trabajo se utilizó el software estadístico R.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 muestra las medidas estadísticas características del análisis. De esta manera se puede observar que la media de pérdida de peso del *E. sideroxyton* de 20 años es de 0,74 mientras que la media de todos los lotes de 6 años supera el valor de 45, otorgándole a la especie una categoría de durabilidad de “no resistente” a esta edad según las normas mencionadas.

**Cuadro 2.** Medidas resumen del análisis y comparación de medias.

Lote	Media		Mediana	CV (%)	Desvío Estándar
112	57,83	a*	55,69	10,73	6,21
113	53,59	ab	51,69	9,24	4,95
111 B	50,22	bc	50,19	6,52	3,28
111 A	48,41	cd	44,13	19,25	9,32
114	45,59	d	45,82	4,23	1,93
20 años	0,74	e	0,75	17,73	0,13

*. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Al realizar el análisis comparativo no paramétrico, se observó que no hubo diferencias significativas entre los lotes de 6 años, pero sí existe diferencias significativas con respecto al material de 20 años de edad, los mismos se detallan en el Cuadro 2. De esta forma, todos los lotes de *E. sideroxylon* de 6 años poseen madera no durable.

En este sentido, McCarthy y Cookson (2008) y Bush (2011), detallan que este eucalipto, en su lugar de origen, posee una durabilidad natural muy alta, del tipo 1, comparable con nuestra muestra cultivada durante 20 años en Argentina, con una persistencia estimada de uso superior a los 25 años. A su vez, Bush (2011), menciona reportes de plantaciones de *E. sideroxylon* con durabilidad moderada a alta con menos de 10 años de edad. En este caso, para el *E. sideroxylon* situado en Argentina, la durabilidad con 6 años no fue satisfactoria, dejando a la especie en una categoría de no durable, pese a alcanzar a esta edad diámetros aptos para las distintas categorías de postes de alambrado.

La durabilidad de la madera depende, entre otros factores, de los extractivos que contenga, de esta forma a mayor cantidad de extractivos, mayor resistencia al deterioro (Pometti et al., 2010). Dichos autores estudiaron la durabilidad de *Prosopis* sp. y *Acacia* sp., encontrando diferencias de durabilidad en la madera de albura versus duramen, donde en el duramen la cantidad de extractivos es mayor. Asimismo, remarcan que no todos los extractivos tienen una alta y positiva correlación entre la cantidad presente y la pérdida de peso, dependiendo de otros factores físicos y químicos de la madera. En este sentido, es posible que la especie *E. sideroxylon* de 6 años, este poco duraminizada o con una duraminización muy incipiente, y por tanto no haya formado los extractivos que sí posee aquella de 20 años y que le otorgan alta resistencia al deterioro.

Si bien se busca que la durabilidad sea elevada, su alta correlación con la densidad puede hacer del material una madera poco maleable para su uso, por ello es pertinente, en estudios futuros, buscar un punto de equilibrio entre durabilidad y edad de corta y en este sentido, acortar tiempos de cosecha y mejorar la trabajabilidad de la madera. Dichos turnos serían altamente competitivos y producirían una disminución en la presión sobre especies nativas de crecimiento más lento.

4. CONCLUSIÓN

El material ensayado presentó poca resistencia a la durabilidad a los 6 años de plantación mientras que, a los 20 años, presentó una resistencia muy alta. Será necesario evaluar otras edades intermedias y de forma periódica (entre 6 y 20 años) para determinar el turno aproximado de corta para la obtención de madera apta para usos rurales, específicamente aquellos que tengan contacto directo con el suelo.

Por último, en futuras investigaciones se incluirá la durabilidad frente a agentes de la pudrición castaña y se hará hincapié en el estudio anatómico de la madera para indagar la razón por la cual esta es una especie de alta durabilidad natural.

5. LITERATURA CITADA

ASTM D 1413-76. Standard method of wood preservatives by laboratory soilblock cultures. ASTM Book of Standards, American National Standard. pp: 452-460.

ASTM D-2017-81 (Reapproved 1986). 1986. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. ASTM Book of Standards, American National Standard. pp: 348-352.

BUSH, D. 2011. Selecting and breeding eucalypts for natural durability. In: John Walker, editor/s. Developing a Eucalypt resource – learning from Australia and elsewhere; 3-4 November 2011; Blenheim New Zealand.



- Christchurch, New Zealand: University of Canterbury; 2012. 125-136.
<http://hdl.handle.net/102.100.100/98967?index=1>
- COOKSON, L.J.; McCARTHY K.J. 2013. Influence of tree age and density on the above-ground natural durability of eucalypt species at Innisfail, Australian Forestry, 76:3-4, 113-120, DOI: [10.1080/00049158.2013.817939](https://doi.org/10.1080/00049158.2013.817939)
- McCARTHY, K.; COOKSON, L. 2008. Natural durability of five eucalypt species suitable for low rainfall areas: sugar gum, spotted gum, red ironbark, yellow gum and swamp yate. Rural Industries Research and Development Corporation. Publication No. 08/162 Project No. CSF-61A.
- MORA, N.; ENCINAS, O. 2006. Biodegradación de maderas. Mérida, VE, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal, Grupo de Investigación en Conservación de la Madera, Laboratorio Nacional de Productos Forestales.
- PATHAUER, P.; PALAZZINI, D. 2021 Evaluación del crecimiento inicial de procedencias locales de *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn. ex Woolls) en el norte de la provincia de Buenos Aires. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos 2021. Actas.
- POMETTI, C. L.; PALANTI, S.; PIZZO, B.; CHARPENTIER, J. P.; BOIZOT, N.; RESIO, C.; SAIDMAN, B.O. 2010. Durability of five native Argentine wood species of the genera Prosopis and Acacia decayed by rot fungi and its relationship with extractive content; Springer; Biodegradation; 21; 5; 753-760.
- ZABEL, R.A.; MORRELL, J.J. 1992. Wood microbiology: Decay and its prevention. ISBN: 0-12-775210-2 Academic Press. Inc. San Diego, California.



EVALUACIÓN DE ALBURA Y DURAMEN DE EJEMPLARES JÓVENES DE ORIGEN CAMPO DURAN DE ALGARROBO BLANCO

A. Lorena S. PERNOCHI¹, Lujan SCALINI², Marcos A. ATANASIO¹

RESUMEN

El algarrobo blanco es una especie destacada del parque chaqueño por sus múltiples usos, siendo uno de los principales, por su gran valor económico, la utilización de la madera para usos industriales. Por ello, el algarrobo blanco es una de las especies nativas usadas en programas de forestación y mejoramiento de Argentina. Algunos resultados de estos programas es la selección de un origen que se destaca por su crecimiento en diámetro y altura. En la EEA Sáenz Peña, Chaco, se implementaron ensayos con material seleccionado en diferentes arreglos y densidades iniciales. Se evaluó la duraminización de la madera de algarrobo de raleo a los 8 años en individuos que crecieron bajo: Rodal distanciamiento 3 m x 3 m, Líneas simple distanciamiento 3 m x 7 m y Doble línea 2,5 m x 4 m x 14 m. Los valores obtenidos de proporción de duramen para este material variaron de 78 % a 81 %. Se obtuvieron diferencias significativas para el espesor de la albura, la proporción del duramen y la relación duramen/albura en los diferentes arreglos y a diferentes alturas en el árbol siendo el arreglo líneas simple el de menor proporción de duramen y mayor espesor de albura.

Palabras clave: *Neltuma alba*, densidades iniciales, madera, raleo

1. INTRODUCCIÓN

El algarrobo blanco (*Neltuma alba*) es una especie muy importante para la provincia del Chaco no solo por su representatividad en los montes chaqueños sino por los múltiples usos que tiene (Fontana et al., 2020). Se destaca el uso de su madera muy utilizada para la producción de muebles y aberturas, siendo la segunda especie de importancia industrial para la provincia del Chaco. Esta especie nativa es utilizada en programas de forestación en la República Argentina y actualmente se encuentra en un proceso de domesticación y mejoramiento en el cual participan diferentes instituciones de investigación, nacionales y provinciales del país (Verga, 2014). El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ha trabajado desde 2004 en un programa de mejoramiento y conservación del algarrobo blanco. En estos estudios se ha seleccionado el origen denominado Campo Durán que se destaca, presentando mayores crecimientos, tanto en diámetro como en altura (López Lauenstein et al., 2014). Existen estudios que muestran que este origen tiene un crecimiento inicial destacado en la provincia del Chaco (Atanasio y Pernochi, 2019). También se han desarrollado investigaciones en cuanto al manejo silvicultural de la especie (Atanasio 2014 a y b), su manejo integrado a la ganadería en sistemas silvopastoriles (Atanasio et al., 2018) y aspectos financieros de estos sistemas (Pernochi et al., 2021). Sin embargo, no se han realizado estudios que caractericen la madera de algarrobo blanco de este material selecto creciendo en la provincia del Chaco. Por otra parte, la madera de raleos iniciales produce en general piezas de pequeñas dimensiones, cuyo destino en el caso del algarrobo es la leña. Es posible otras alternativas de usos para diámetros relativamente pequeños y de menor longitud como ser los ensambles tipo *finger joint* que se están comenzando a utilizar en aserraderos de la zona.

Uno de los caracteres macroscópicos más importantes de la madera es la proporción de duramen/albura ya que la madera de calidad para la industria del aserrado es preferentemente aquella con mayor proporción de duramen. La variación en la proporción y características del duramen varían con las especies, el genotipo, edad, posición en el árbol, tasa de crecimiento, y su manejo silvicultural entre otros aspectos (Cherelli et al., 2018; Kumar y Dhillon, 2014; Martínez et al., 2022). El objetivo del

¹INTA Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. atanasio.marcos@inta.gob.ar; pernochi.lorena@inta.gob.ar;

²Becaria ICCTI 2023-2024. lujanscalini@gmail.com

presente trabajo es evaluar la proporción de duramen, y la relación duramen/albura de la madera de raleo de algarrobo origen Campo Durán creciendo en diferentes distanciamientos y densidades.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 30 árboles de 8 años provenientes de raleos selectivos por lo bajo de ensayos de diferentes distanciamientos y densidades de algarrobo blanco (*Neltuma alba*) origen Campo Durán. Los ensayos se instalaron en marzo de 2015 en la Estación Experimental de INTA Sáenz Peña en la localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco, ubicado a los 26° 49' 41" de latitud sur y 60° 26' 45" de longitud oeste. El clima de la región es Subtropical intermedia entre marítima subhúmeda y continental seca, la precipitación promedio anual es de 999 mm, las lluvias se concentran entre octubre y abril, con meses críticos (junio a agosto) de escasas precipitaciones. La temperatura media anual es de 22,5 °C, máxima de 28,2 °C y mínima de 14,8 °C, con extremos de -8,7 °C en agosto y 44,2 °C en diciembre. Los días con peligro de heladas meteorológicas, van desde el 12 de mayo hasta el 26 de setiembre y rango de 174 días/año promedio en las heladas agrometeorológicas. Los diferentes arreglos de plantación fueron: rodal macizo con una densidad inicial de 1.111 plantas/ha (3 m x 3 m) en una superficie de 3 hectáreas. Sistema silvopastoril de doble línea, con densidad inicial de 375 plantas dispuestas en doble línea de 2,5 m x 4 m separados por 14 m sin árboles en una superficie de 2 hectáreas. Sistema de líneas simples con una densidad de 376 plantas iniciales dispuestas a 7 m x 3 m, en una superficie de 1,5 hectáreas. En el rodal macizo se aplicó un primer raleo a la edad de 3 años dejando una densidad de 900 árboles por hectárea. A la edad de 8 años se realizaron raleos del 30% de la densidad total, en cada uno de estos tratamientos, siendo el primer raleo para los tratamientos doble línea y línea simple y el segundo raleo para el Rodal. El raleo aplicado fue selectivo, se eliminaron individuos de mala forma, de menor crecimiento, inclinados. A cada uno de los árboles raleados se les midió el DAP (diámetro a una altura de 1,3 m sobre el suelo) en pie con forcípula. Se seleccionaron diez árboles por cada tratamiento (30 árboles en total), a ellos, además del DAP, se determinó la forma o rectitud del fuste a través de una escala con tres categorías observadas (B) buena, (R) regular y (M) mala. Una vez apeados, se les midió altura de fuste y altura total con cinta métrica, y luego se procedió al trozado y a la toma de muestras. Las mismas consistieron en rodajas de maderas de 5 cm de espesor aproximadamente, que se sacaron de la base del árbol y a la altura del DAP. Un total de 60 muestras fueron identificadas con códigos correspondientes al tratamiento, el número de árbol y la posición en el árbol (base o DAP), también se marcó la posición del norte. Las muestras fueron acondicionadas de la siguiente manera: Las rodajas fueron secadas al aire y pulidas en una de las superficies transversales con lijas de granulometría creciente (80-100).



Imagen 1. Muestras de rodajas de maderas de algarrobo obtenidas de raleo.

La medición del diámetro del duramen se realizó mediante la identificación visual de los límites por diferenciación de color y en cada rodaja se realizaron dos mediciones perpendiculares entre sí con regla metálica. El ancho de la albura se obtuvo por diferencia entre el diámetro promedio de la muestra sin corteza y el diámetro promedio del duramen, dividido por dos, tanto de la base como del DAP. La proporción de duramen se obtuvo de la división de su área respecto al área de la rodaja sin corteza. La relación de duramen con la albura (D/A) se determinó por la división del área del duramen respecto al área de la albura. Las áreas en la sección transversal se calcularon suponiendo a dichas áreas como circulares y utilizando los diámetros sin corteza:



Para el análisis de las variables consideradas, se utilizaron modelos lineales generales mixtos (MGL) y la comparación de medias se efectuó mediante el test de DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves), empleando el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2020).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra las características dendrométricas de los árboles raleados; los valores de diámetro encontrados son similares para los distintos tratamientos. El diámetro promedio fue menor en el rodal, a pesar de que tuvo un raleo a los 3 años, esto se debe a que se inició con alta densidad de plantación (1.111pl/ha) y la densidad final siguió siendo bastante más alta en comparación con los otros tratamientos. Las alturas de fuste y total son muy similares para los tres esquemas de plantación.

Cuadro 1. Valores promedios, máximos, mínimos y coeficiente de variación (CV) de características dendrométricas de árboles de algarrobo raleados. Entre paréntesis, valores extremos.

Tratamiento	DAP (cm)	CV (%)	Alt fuste (m)	CV (%)	Alt. Total (m)	CV (%)
Doble línea	14,6 (10,8 - 17,9)	16,8	2,9 (2,5 - 3,5)	11,9	7,3 (6,5 - 8,4)	7,7
Línea simple	14,8 (12,1 - 17,0)	11,0	2,3 (1,7 - 2,7)	11,4	7,2 (5,7 - 8,9)	12,1
Rodal	13,4 (12,0 - 18,3)	14,0	2,3 (2,0 - 2,5)	7,8	6,7 (5,9 - 7,2)	6,3

El espesor promedio de la albura varió de 1,29 cm a 1,89 cm diferenciándose significativamente los árboles que crecieron bajo el arreglo de línea simple en comparación con los otros dos tratamientos (Cuadro 2). Valores de espesor de albura de 1,53 cm a 1,63 cm, fueron encontrados en ejemplares de árboles nativos de algarrobo en diferentes sitios (Cisneros et al., 2013). Según Ojansuu (1995) citado por Vignote et al. (2013); la superficie que ocupa la albura (superficie conductora de la savia) está relacionada a la superficie foliar del árbol, si la superficie foliar es grande, lo debe ser también la albura y viceversa. Los árboles que crecen en líneas simple tienen mayor desarrollo de copa, lo cual puede explicar su mayor espesor de albura.

Cuadro 2. Valores medios de espesor de albura, proporción de duramen y relación duramen/albura para los tres arreglos estudiados.

Tratamiento	Espesor de albura (mm)	Proporción de duramen (%)	Relación duramen/albura
Doble línea	1,29 b	81,58 a	2,23 a
Línea simple	1,89 a	73,88 b	1,38 b
Rodal	1,29 b	80,90 a	1,75 b

La proporción de duramen promedio para este material de 8 años varió de 73 % a 81 %, (Cuadro 2). Con diferencias estadísticas significativas entre el arreglo de línea simple y los otros dos tratamientos (p -valor $\leq 0,05$). Estos valores de proporción de duramen son considerados muy promisorios para este material de algarrobo en plantaciones ya que altos valores de proporción de duramen es una característica muy deseable para usos sólidos. Cisneros et al. (2013), en plantaciones de algarrobo de más de 13 años encontraron proporción de duramen de un 87%.

La relación duramen/albura varió de 1,38 a 2,23 diferenciándose significativamente el arreglo de Doble línea con los mayores valores.

Teniendo en cuenta la posición en el fuste, el espesor de la albura fue mayor en la base que en el DAP, siendo significativamente mayor en el sistema de líneas simples (Gráfico 1). Giménez et al. (2000) señalan que el espesor de la albura disminuye con la altura en *Neltuma alba* y *N. kuntzei*.

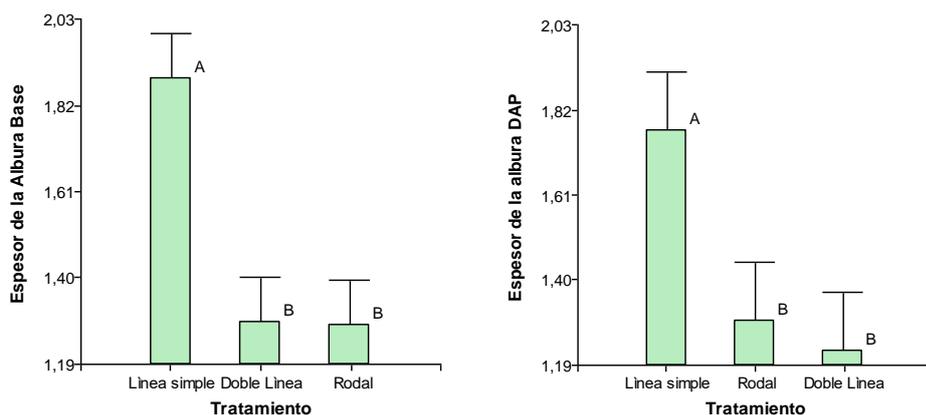


Gráfico 1. Espesor de albura en la base y el DAP a los 8 años, para los diferentes arreglos de plantación de algarrobo en Sáenz Peña (Chaco).

Cuadro 3. Valores medios de proporción de duramen y relación duramen/albura de las dos alturas evaluadas en los distintos tratamientos.

Tratamiento	Proporción de duramen Base (%)	Proporción de duramen DAP (%)	Relación duramen/albura Base	Relación duramen/albura DAP
Doble línea	82,68 a	80,47 a	2,38 a	2,06 a
Línea simple	73,95 b	73,37 b	1,46 b	1,32 a
Rodal	82,86 a	78,93 a	2,36 a	1,76 a

La proporción de duramen en la base y a la altura del DAP presenta diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 3). La proporción de duramen disminuye poco (de un 1 a 5 %) desde la base a la altura del DAP. La menor disminución se da en el tratamiento líneas simple y la mayor en el rodal. Esta disminución en la proporción del duramen en sentido axial también se da en otras especies como eucaliptus (Martínez et al., 2022; Monteoliva et al., 2012). La mayor proporción de duramen en la base y DAP se da en los tratamientos rodal y doble línea, diferenciándose significativamente del tratamiento línea simple. Es importante destacar que en dos densidades de plantación muy diferentes se dan similares proporciones de duramen, esto puede deberse a los distanciamientos de plantación utilizados en estos tratamientos. En cuanto a la relación duramen/albura existen diferencias significativas entre los tratamientos en la base, siendo menor y diferente de los otros el tratamiento de líneas simples; a la altura del DAP las diferencias no son significativas.

4. CONCLUSIONES

Considerando que el principal uso de la madera de algarrobo es la industria del aserrado para diversos productos, la respuesta obtenida al analizar características madera de plantaciones jóvenes de material de *Neltuma alba* de origen Campo Durán, es alentadora dado la alta proporción de duramen que muestra a la edad de 8 años. Lo cual muestra un potencial de aprovechamiento comercial de cortas intermedias de las plantaciones con este material. Es necesario continuar realizando evaluaciones sobre el manejo de plantaciones en diferentes arreglos y densidades donde se tenga en cuenta no solo el crecimiento sino también como afectan estos tratamientos a la calidad de la madera a fin de ajustar las prácticas de manejo, como así también la respuesta del material en otros sitios de la región.

5. LITERATURA CITADA

- ATANASIO, M.A. 2014a. Influencia de la poda en el crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. Revista Quebracho Vol.22 (1,2):66-78 – ISSN 0328-0543. Disponible en: <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/v22n2a02.pdf>
- ATANASIO, M.A. 2014b. Influencia de raleos selectivos sobre el crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. XXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos, 11ª edición ISSN 1667-9253. A.I.A.N.E.R.-INTA Concordia. Poster (595.16-P-Atanasio) y trabajo extendido (595.15-TE-Atanasio).
- ATANASIO, M.A.; PERNOCHI, A.L.S.; Chiossone, J.G. 2018. Productividad maderera y forrajera de un sistema silvopastoril de *Prosopis alba* de variable densidad de árboles y radiación. Actas. IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles 2018. Ediciones INTA, 749 p. Libro digital ISSN: 1667-4014 1.



- ATANASIO, M.A.; PERNOCHI, A.L.S. 2019. Crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. en plantación pura y sistema silvopastoril, en Chaco, Argentina. En X Congreso internacional sobre sistemas silvopastoriles: por una producción sostenible. Libro de Actas. Editorial CIPAV, Cali
- CISNEROS, A.B.; MOGLIA, J.G.; GONZALEZ, D. 2013. Caracteres macroscópicos de la madera de individuos selectos de *Prosopis alba* de diferentes sitios. IX Jornadas de Ciencias y Tecnologías de Ingenierías del NOA. Santiago del Estero. Octubre de 2013.
- CHERELLI, S.G.; SARTORILI, M.M.P.; PRÓSPERO, A.G.; BALLARIN, A.W. 2018. Heartwood and sapwood in eucalyptus trees: non-conventional approach to wood quality. Anais da Academia Brasileira de Ciências 90(1):425-438. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160195>.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALES, L.; TABLADA, M.; ROLEDO, C.W. 2019. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- FONTANA, M.L.; PÉREZ, V.R.; LUNA C.V. 2020. Distribución, bioecología y provisión de bienes y servicios ecosistémicos de *Prosopis alba* en Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, V.I 119 (2) p1-11.
- GIMÉNEZ, A.; RÍOS, N.; MONGLIA, J.G. 2000. Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca. Quebracho8 (1): 56-63.
- KUMAR, A.; DHILLON, G.P.S. 2014. Variation of sapwood and heartwood content in half-sib progenies of *Eucalyptus tereticornis* Sm. Indian Journal of Natural Products and Resources, 5(4):338-344. ISSN 0976-0512
- MARTÍNEZ, M.; WINCK, R.; MASTRANDREA C.; HARRAND, L.; OBERSCHELP, G. P.J. 2022. Duramen y albura en clones de Eucaliptos de INTA. XXXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. 10.13140/RG.2.2.31610.77768.
- MONTEOLIVA, S.E.; CIGANDA, V.; IGARTÚA, D.V. 2012. Contenido de duramen y de albura en *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon* implantadas en Buenos Aires, Argentina. Maderas. Ciencia Y Tecnología, 14(1), 53–63. Retrieved from <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/MCT/article/view/>
- LÓPEZ LAUESTEIN, D.; VEGA, C.; LUNA, C.; SAGADIN, M.; MELCHIORRE, M.; POZZI, E.; SALTO, C.; OBERSCHELP, J.; TORALES, S.; POMPONIO, F.; KEES, S.; CHAVEZ DÍAZ, L.; GOMES, C.; VERGA, A. Subprograma *Prosopis*. En Domesticación y Mejoramiento de especies Forestales. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina. pp. 113-135, 2014.
- PERNOCHI, L.S.; COLCOMBET, L.; EGOLF, P.; ATANASIO, M.A. 2021. Variabilidad de los resultados financieros de sistemas silvopastoriles con algarrobo blanco, que parten desde ganadería y forestación pura en función de cuatro situaciones. Web https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_a95d7cfeb9b72a455c7c849063f62285.
- VERGA, A. 2014. Rodales semilleros de *Prosopis* a partir de bosque nativo. Quebracho (Santiago del Estero) Vol 19 (1,2) pp 125-138.
- VIGNOTE PEÑA, S.; MARTINEZ ROJA, I.; VILLASANTE PLÁGARO, A. 2013. Silvicultura y Calidad de Madera. 63 pp. Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/21580/1/SiLVITCALIDADMADERA.pdf>



PRIMERAS EXPERIENCIAS FORESTALES CON ESPECIES NATIVAS EN EL SUR DE CÓRDOBA

Marcela Iris GENERO¹, Francisco MARRARO ACUÑA², Amanda CORA³

RESUMEN

En el sur de Córdoba, Argentina, se evaluó la sobrevivencia y crecimiento de tres especies de *Neltuma* (algarrobos): *Neltuma flexuosa* (algarrobo dulce), *Neltuma caldenia* (caldén), y dos orígenes de *Neltuma alba* (algarrobo blanco). Se plantó en un suelo de capacidad de uso III, utilizando un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y 25 plantas por parcela. La plantación fue en diciembre de 2019 y se evaluó en mayo de 2024. Se compararon las condiciones climáticas con promedios históricos. Las precipitaciones fueron altas en los primeros meses, pero disminuyeron a partir de febrero. Las temperaturas fueron similares al promedio histórico. El análisis estadístico de los datos arrojó diferencias significativas. El algarrobo dulce tuvo la menor sobrevivencia (78 %), mientras que el caldén y el algarrobo blanco procedente de Santiago del Estero (Alba 1) alcanzaron el 97 %. En crecimiento, ambos orígenes de *N. alba* mostraron el mayor desarrollo, superando los 2 metros de altura, sin diferencias significativas entre ellos. Caldén y algarrobo dulce no superaron los 1,3 metros.

Palabras clave: *Neltuma*, adaptación, sobrevivencia.

1. INTRODUCCIÓN

La Legislatura de la Provincia de Córdoba sancionó en el año 2017 la Ley provincial 10.467, por la cual el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Gobierno de Córdoba puso en marcha el Plan Agroforestal. El mismo requiere que cada establecimiento rural posea entre un 2 % y un 5 % de su superficie forestada (Ley 10.467, 2017), por lo que en el sur cordobés surge la inquietud de evaluar diferentes alternativas para implantar en la región.

La región antes mencionada, teniendo en cuenta la vegetación original, corresponde a la Provincia del Espinal en el Dominio Chaqueño (Cabrera, 1953) que abarca el este y el sudoeste de la provincia de Córdoba. El este y el sudoeste de la provincia de Córdoba estaban cubiertos por grandes extensiones de bosques abiertos del Espinal Periestépico (Lewis et al., 2005).

Actualmente, a causa de la expansión de la agricultura y la explotación de los bosques, estos últimos están prácticamente desapareciendo, o bien están muy fragmentados. En este contexto, es importante generar información que aporte al incremento de superficie cubierta por especies forestales nativas de la provincia de Córdoba (Lewis et al., 2005). Para ello, en el ámbito forestal se evalúa el crecimiento que depende de la especie, edad, densidad de plantación y calidad de sitio (Rojo Martínez et al., 2005).

Las especies del género *Neltuma* son fundamentales en estos agroecosistemas porque generan un aporte a la biodiversidad de especies no solo de flora sino de fauna también, siendo refugio y alimento de muchas especies animales (Córdoba et al., 2008). En el caso de *Neltuma alba* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis, es la principal especie nativa empleada en la industria del mueble en la provincia del Chaco, Argentina (Michela et al., 2015).

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento, sobrevivencia y crecimiento de materiales forestales del género *Neltuma* en el departamento General Roca de la provincia de Córdoba.

¹ INTA AER Huinca Renancó. genero.marcela@inta.gob.ar

² INTA EEA Manfredi. marraro.francisco@inta.gob.ar

³ INTA EEA Manfredi. cora.amanda@inta.gob.ar



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron cuatro materiales correspondientes a tres especies del género *Neltuma*: *Neltuma flexuosa* (DC.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (algarrobo dulce o negro), *Neltuma caldenia* (Burkart) C.E. Hughes & G.P. Lewis (caldén) y dos orígenes de *Neltuma alba* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (algarrobo blanco); uno proveniente de Santiago del Estero (Alba 1) y el otro de Sáenz Peña, Chaco (Alba 2).

El ensayo fue instalado en un campo ubicado en las cercanías de la localidad de Ranqueles, lindante sobre ruta provincial 26 (latitud -34,8241125° y longitud -64,1818171°), Departamento General Roca.

El suelo donde se ubica el ensayo es de capacidad de uso III, Complejo de Series EL veintitrés 90 % y Huinca Renancó 10 %. Es un suelo algo excesivamente drenado, desarrollado sobre materiales franco-arenosos, y vinculado a las lomas muy suavemente onduladas y concavidades de mesorrelieve, con pendientes próximas al 0,5 % (INTA y Ministerio de Agroindustria de la provincia de Córdoba, 2018).

La temperatura media anual es de 16,7 °C, la temperatura media del mes más caluroso (enero) es de 25 °C y la correspondiente al mes más frío (julio) es de 8,6 °C. El período caluroso se extiende desde noviembre a marzo, siendo frecuentes temperaturas cercanas o superiores a 40 °C en el lapso de mediados de diciembre a mediados de febrero. El invierno es particularmente frío en el trimestre junio a agosto, con temperaturas mínimas cercanas a -10 °C.

Diseño. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada bloque estuvo compuesto por cuatro parcelas, una por cada material, de 25 plantas cada una (5 líneas de 5 individuos), con un marco de plantación de 3,5 m x 3,5 m. Se evaluaron las 9 plantas centrales, considerando una bordura simple en cada parcela.

Previo a la plantación, se realizó un barbecho mecánico mediante el empleo de una rastra de discos controlando malezas y generando mejores condiciones del suelo para la implantación. Los hoyos fueron realizados con hoyadora y los plantines provenían de distintos viveros en tubetes de plástico. La plantación se realizó en diciembre de 2019, con un riego de asiento y otro al mes. A los fines de contener el agua de riego se dejó una cazuela. Durante el primer año se controlaron malezas con desmalezadora entre hileras.

Evaluación. En mayo de 2024, tras cuatro años y cinco meses de su establecimiento, se evaluó la sobrevivencia de los materiales, conteo de plantas vivas y muertas en cada parcela; se midió la altura total plantas en metros. Se calculó el incremento medio anual en altura (IMAH) lo que permite conocer el incremento medio de la altura a cierta edad de la plantación (Imaña y Encinas, 2008)

Se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2020) para realizar el Análisis de la Varianza y su correspondiente prueba de comparación de medias LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$) de las variables sobrevivencia y altura.

Se realizó una comparación entre condiciones climáticas promedio de los últimos 69 años (INTA y Ministerio de Agroindustria de la provincia de Córdoba, 2018), y las ocurridas la primera etapa primavera-verano posterior a la plantación (MAGYA. Estaciones meteorológicas de la provincia de Córdoba. Omixon, 2024). Las variables cotejadas fueron precipitación y temperatura para los meses comprendidos desde octubre del año 2019 a mayo del 2020.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la sobrevivencia (Gráfico 1), se observó que todos los materiales presentaron valores superiores al 78 %, resultados alentadores para la zona. Se destaca que el material con menor sobrevivencia fue algarrobo dulce, con 78 % de plantas vivas, este valor puede considerarse como un valor medio a alto. Los cuatro materiales se diferenciaron significativamente, siendo caldén y Alba 1 los de mayor sobrevivencia llegando a un 97 % (Cuadro 1).

Al comparar la altura alcanzada por los diferentes materiales (Gráfico 1), se detectaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 1). Se destacan del resto, por su mayor desarrollo, los dos

materiales de algarrobo blanco, sin mostrar diferencias entre ambos materiales a pesar de los orígenes diferentes. Tanto el caldén como el algarrobo dulce no superaron el 1,3 m de altura, mientras que los dos orígenes de algarrobo blanco presentaron alturas promedio superiores a los 2 m. Alba 1 presentó una altura promedio de 2,32 m y Alba 2 una altura promedio de 2,23 m.

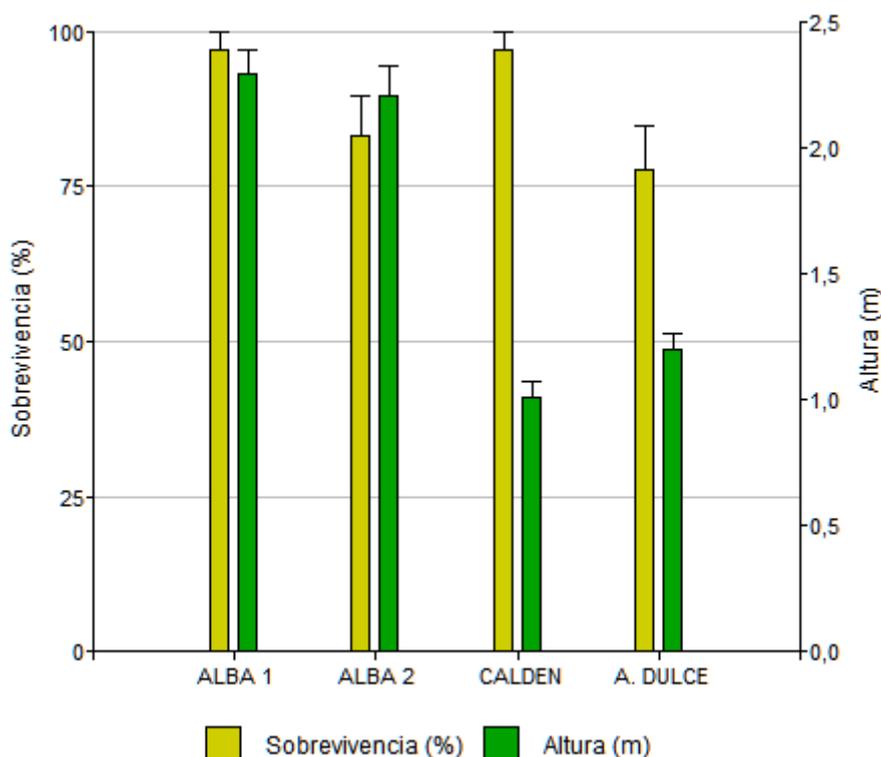


Gráfico 1. Sobrevivencia media, expresada en porcentaje y, altura media, en metros, para los cuatro materiales evaluados.

Al comparar el crecimiento de los materiales de algarrobo blanco en el presente estudio vemos que los valores de IMAH son muy inferiores a los observados por Michela et al. (2015) para plantaciones de este material en la provincia del Chaco. Estos autores registraron valores de IMAH entre 0,82 m y 0,95 m. Esta diferencia en crecimiento quizás se explique considerando las condiciones ambientales de ambas regiones.

Cuadro 1. Valor promedio, para cada material genético, de las variables sobrevivencia y altura total. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas.

Material genético	Sobrevivencia (%)	Altura total (m)	IMAH (m)
ALBA 1	97 a	2,32 a	0,53 a
ALBA 2	83 a	2,23 a	0,51 a
CALDEN	97 a	1,02 b	0,23 b
A. DULCE	78 b	1,21 b	0,27 b

En cuanto a las condiciones ambientales registradas en la campaña 2019/20, se observa, en el Gráfico 2, que las precipitaciones de los dos primeros meses posteriores a la implantación fueron iguales o superiores al promedio histórico, lo cual habría propiciado la alta sobrevivencia. Luego, desde febrero, están muy por debajo de la media histórica. En cuanto a la temperatura, durante la temporada analizada, se observó a que la media registrada es muy similar a la del promedio histórico.

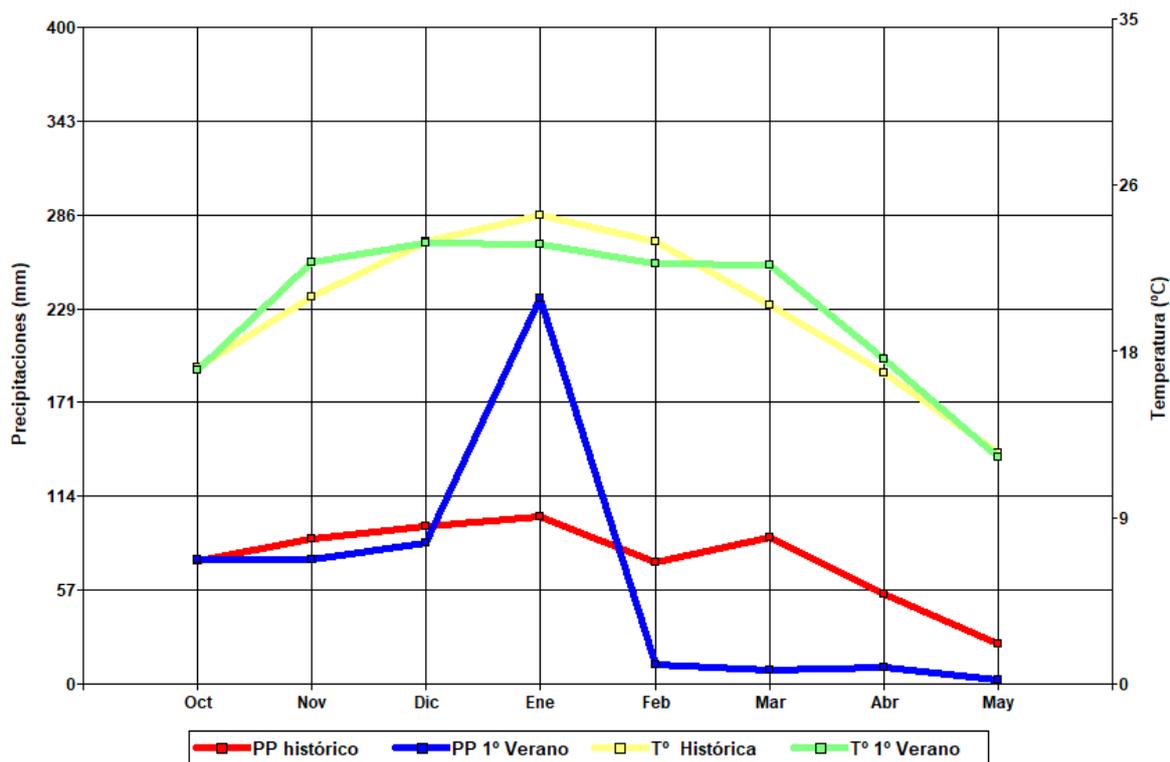


Gráfico 2. Variables climáticas para el período octubre a mayo. PP histórico: valor promedio histórico de precipitación media mensual (1949 – 2018); PP 1º Verano: precipitación media mensual ocurrida de octubre 2019 a mayo 2020; T° histórica: valor promedio histórico de temperatura media mensual (1949 – 2018); T° 1º verano: temperatura media mensual ocurrida de octubre 2019 a mayo 2020.

4. CONCLUSIONES

Las especies con mayor sobrevivencia en el sur de Córdoba fueron *Neltuma caldenia* (Caldén) y *N. alba* de origen Santiago del Estero (Alba 1), siendo esta última la de mayor desarrollo en altura.

Los porcentajes de sobrevivencia de las especies nativas evaluadas fueron altos, aun con precipitaciones inferiores a la media histórica durante el período entre febrero y abril del primer verano. Estos resultados alientan al empleo de estos materiales en la región.

5. LITERATURA CITADA

- CABRERA, Á. 1953. Esquema fitogeográfico de la República Argentina. Revista del Museo de La Plata, 87-168.
- CÓRDOBA, A.A.; CARRANZA, C.; JOSEAU, J.; LEDESMA, M., VERGA, A. 2008. El cultivo del algarrobo. Obtención de semilla, vivero y plantación del algarrobo con especial referencia al Chaco árido argentino. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L., TABLADA, M., ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- INTA y Ministerio de Agroindustria de la provincia de Córdoba. 2018. Carta de suelo de la República Argentina: Hoja 3563-13, Huinca Renancó, Córdoba: Disponible en: <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/mapa/334%20>
- IMAÑA, J.; ENCINAS, O. 2008. Epidometría forestal. Universidade de Brasilia, departamento de Engenharia Florestal. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. 72p.
- LEY 10.467. Plan provincial Agroforestal. 2017. Publicada en el Boletín Oficial el 13 de septiembre de 2017.
- LEWIS, J.P.; PRADO, D.E.; BARBERIS, I.M. 2005. Los remanentes de bosques del Espinal en la provincia de Córdoba. Situación ambiental argentina, 254-260.
- MAGYA. ESTACIONES METEOROLOGICAS DE LA PROVINCIA DE CORDOBA. Omixon. 2024. Localidad Jovita. <https://cordoba.redesclimaticas.com/next/login>.
- MICHELA, J.F.; KEES, S.M.; SKOKO, J.J. 2015. Evaluación del crecimiento de plantaciones juveniles de Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) en el centro oeste del Chaco Argentino. Temas agrarios 20(1): 9-18.



ROJO MARTÍNEZ, G.E.; JASSO MATA, J.; ZAZUETA ANGULO, X.; PORRAS ANDUJO, C.R.; VELÁZQUEZ MARTÍNEZ, A. 2005. Modelos de índices de sitio para *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. Del clon IAN-710 en el norte de Chiapas. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo sustentable. Ra Ximhai, Universidad Autónoma Indígena de México. 1(1): 153-166.

AGRADECIMIENTOS

Med. Veterinario Jorge Garcia por facilitar el campo donde se implanto el ensayo y se lleva adelante el presente estudio.



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES DE *Neltuma alba* EN EL SUR DE SU DISTRIBUCIÓN EN ARGENTINA

Ricardo Martín ORQUERA¹, Lorena MARINONI^{1,2}, Juan Marcelo ZABALA^{1,2}

RESUMEN

Neltuma alba es una especie forestal ampliamente distribuida en los bosques del centro-norte de Argentina que representa un recurso valioso en materia ecológica y económica. La sobreexplotación, deforestación y las estrategias de conservación deficientes, ponen en riesgo su diversidad genética. Conocer la diversidad genética es un criterio fundamental para el manejo del recurso fitogenético. Sin embargo, conocer el número total de alelos que contiene una especie en un territorio extenso resulta una tarea inabordable. La caracterización morfológica es una de las sucesivas etapas en la ordenación del recurso genético de algarrobo para fines de uso y conservación. En este trabajo se analizó la variabilidad morfológica en el sur de su distribución. Se realizó una caracterización morfológica mediante análisis de datos multivariados de 49 poblaciones de *N. alba* utilizando 13 caracteres morfológicos de hoja. Los resultados permitieron identificar cuatro grupos morfológicos, que se distribuyen en su mayor parte en la ecoregión del Espinal. Estos grupos, distribuidos en diferentes ambientes, representan una base preliminar para futuros estudios de caracterización molecular a fin de evaluar los procesos de adaptación evolutiva.

Palabras clave: *algarrobo, espinal, grupos morfológicos, recursos genéticos*

1. INTRODUCCIÓN

Neltuma alba (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (Fabaceae) es una de las especies típica de los bosques del Chaco Húmedo, Chaco Semiárido y del Espinal (Ledesma et al., 2008). El algarrobo blanco, como se lo conoce comúnmente, se destaca por su importancia económica y ecológica. Es considerada una especie de uso múltiple (Verzino & Joseau 2005), su valor no se reduce solamente a la calidad de su madera, sino también a los productos forestales no maderables, sus frutos tienen factibilidad de aprovechamiento industrial para la elaboración de harinas y otros derivados (Grados & Cruz 1996; Ruiz W et al., 1998).

La caracterización morfológica conforma la etapa inicial del ordenamiento del recurso genético de algarrobo (Verga, 2009). Varios autores afirman que los algarrobos presentan una fuerte correlación entre sus características de hoja y su base genética, especialmente aquella relacionada con su origen específico (Saidman, 1986; Joseau & Verga, 2005; Verga & Gregorius, 2007; Ferreyra et al., 2013; Verga, 2014). En este contexto, Verga (2014) remarca que los algarrobos conforman un complejo sistema de especies entrelazadas que conduce a un proceso de hibridación interespecífica, dificultando el proceso inicial del ordenamiento del recurso genético de algarrobo. Existen numerosos antecedentes de caracterización morfológica de *N. alba* basada en taxonomía numérica tanto de hojas como de frutos, lo cual ha permitido obtener un grado de detalle mayor que el alcanzado por la sistemática clásica al momento de diferenciar grupos con características genéticas comunes. En ese sentido, durante años se han realizado varios trabajos para diferenciar grupos de individuos de *N. alba* en función de sus caracteres morfológicos de hoja (Verga et al., 2009; Bessega et al., 2009; Ferreyra et al., 2013; Joseau et al. 2013; Teich et al., 2019; Vega et al., 2020). En relación a esto, Bessega et al. (2015) sostiene que la mayor diferenciación fenotípica entre poblaciones de *N. alba* se observan en los

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICiAgro Litoral, UNL-CONICET). Kreder 2805, Esperanza (3080), Argentina. Contacto: orquera104@gmail.com

² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral (FCA-UNL), Kreder 2805, Esperanza (3080), Argentina. jmzabala@fca.unl.edu.ar



caracteres de hoja. Recientemente, Teich et al. (2019) diferenció tres morfotipos para la ecorregión del Chaco, morfotipo chaqueño, santiagueño y salteño.

En el presente estudio se propone caracterizar la variabilidad morfológica de *N. alba* a través de técnicas multivariantes en sitios de Argentina donde existen vacíos de información, principalmente en la ecorregión del Espinal.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron y analizaron hojas de 49 poblaciones de *N. alba* conformadas por 7 a 10 árboles distanciados al menos a 100 metros entre ellos. De cada uno de estos árboles se extrajeron cinco hojas de diferentes partes de la copa, las cuales fueron herborizadas para su posterior análisis. Las hojas fueron escaneadas y luego analizadas mediante el programa HOJA 3.6 (Verga, 2015). Se midieron 13 caracteres cuantitativos (Cuadro 1), permitiendo así un análisis a través de taxonomía numérica. Estas variables fueron utilizadas en los trabajos previos de caracterización morfológica de la especie y permitieron detectar patrones adaptativos (Verga 2014; Teich et al., 2019).

Cuadro 1. Variables utilizadas en la caracterización morfológica de *N. alba*

LPE	Longitud del pecíolo.
NPI	Número de pares de pinnas.
LPI	Longitud de la pinna.
NFOL	Número de pares de foliólulos por pinna.
DIFOL	Distancia entre foliólulos. (LPI/NFOL).
LFOL	Longitud del foliólulo.
AFOL	Ancho del foliólulo.
LAFOL	Relación largo/ancho de foliólulo. (LFOL/AFOL)
ARFOL	Área del foliólulo.
AP-TOT	Relación área del ápice del foliólulo y área total del foliólulo
ARTOT	Índice de área foliar.
L-DIFOL	Relación entre largo y distancia entre foliólulo (LAFOL/DIFOL)
DIFOL-A	Relación entre la distancia y el ancho del foliólulo (DIFOL/AFOL).

Para el análisis de los datos se generó una matriz configurada al efecto de técnicas multivariantes, $n=861 \times p=13$ (donde n = árboles totales y p = variables morfológicas). Se utilizaron los valores medios de todos los árboles, (428 procedentes de las 49 poblaciones muestreadas en este trabajo) y (433 de los tres morfotipos, PA-SA, PA-SG, Y PA-CH), los cuales fueron proporcionados por Teich et al. (2019). La distribución geográfica de las poblaciones y morfotipos se observa en la (Figura 3). Se realizó un *Análisis de Componentes Principales* (ACP) a fin de evaluar cuáles son las variables que tienen mayor contribución en explicar la variación total. En un Biplot, se ordenaron las poblaciones en función de las características foliares de los árboles que los conforman. Posteriormente, se realizó una clasificación no supervisada mediante un *Análisis de conglomerado*. Se construyó un dendrograma a través del método de Ward. Se utilizó como métrica para cuantificar la similitud entre observaciones la distancia euclídea considerando integrantes de cada grupo, aquellos individuos que se diferencian entre sí por debajo de un umbral establecido. Como criterio de clasificación para ambos algoritmos se utilizó la población y el morfotipo al que pertenece cada individuo a fin de reducir la dimensionalidad e interpretación de los datos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados permitieron identificar cuatro grupos morfológicos de *N. alba* al sur de su distribución, los cuales se distribuyen en su mayor parte en la ecorregión del Espinal (Figura 3).

En el Biplot (Figura 1) resultante del ACP, se observa que las primeras dos CP explicaron el 71,2 % de la varianza total. Las variables de mayor importancia y que mejor ordenaron las poblaciones en función de sus características foliares, son las que mostraron mayor correlación con la CP1. En ese sentido, longitud del foliólulo (LFOL) y área del foliólulo (ARFOL), coinciden con las reportadas por (Teich et al., 2019; Vega, 2020). De igual forma, en la CP2 las que asumen mayor importancia son número de pinnas



(NPI), relación entre la distancia y el ancho del foliólulo (DIFOL-A) y número de foliólulos (NFOL).

Si bien existe una variación continua, como lo reportado por Teich et al. (2019) para los morfotipos, se observa que las poblaciones conforman grupos con mayor o menor variabilidad, dependiendo de la porción de variación que ocupan en el Biplot (Figura 1). La CP1 en su rango de variación (de izquierda a derecha) diferencia los grupos 1, 2 y 3, y la CP2 el grupo 4 del 3. Según (Bruno & Balzarini, 2010), las ordenaciones morfológicas basadas en matrices de distancias multivariadas son útiles cuando la variación está más cercana a ser continua o semicontinua, tal como ocurre en este estudio. De acuerdo con las proyecciones de los autovectores sobre la CP1, el Grupo 3 y el morfotipo salteño (PA-SA), se diferencian del Grupo 1 por presentar mayores valores de índice de área foliar (ARTOT), ancho de foliólulo (AFOL), y longitud de foliólulo (LFOL). Las variables número de pares de pinnas (NPI) y número de foliólulos (NFOL) asociadas a la CP2 asumen los valores más altos en PA-CH y los menores en el Grupo 4, en el cual longitud del peciolo (LPE), y distancia entre foliólulo (DIFOL) alcanzan los valores más altos.

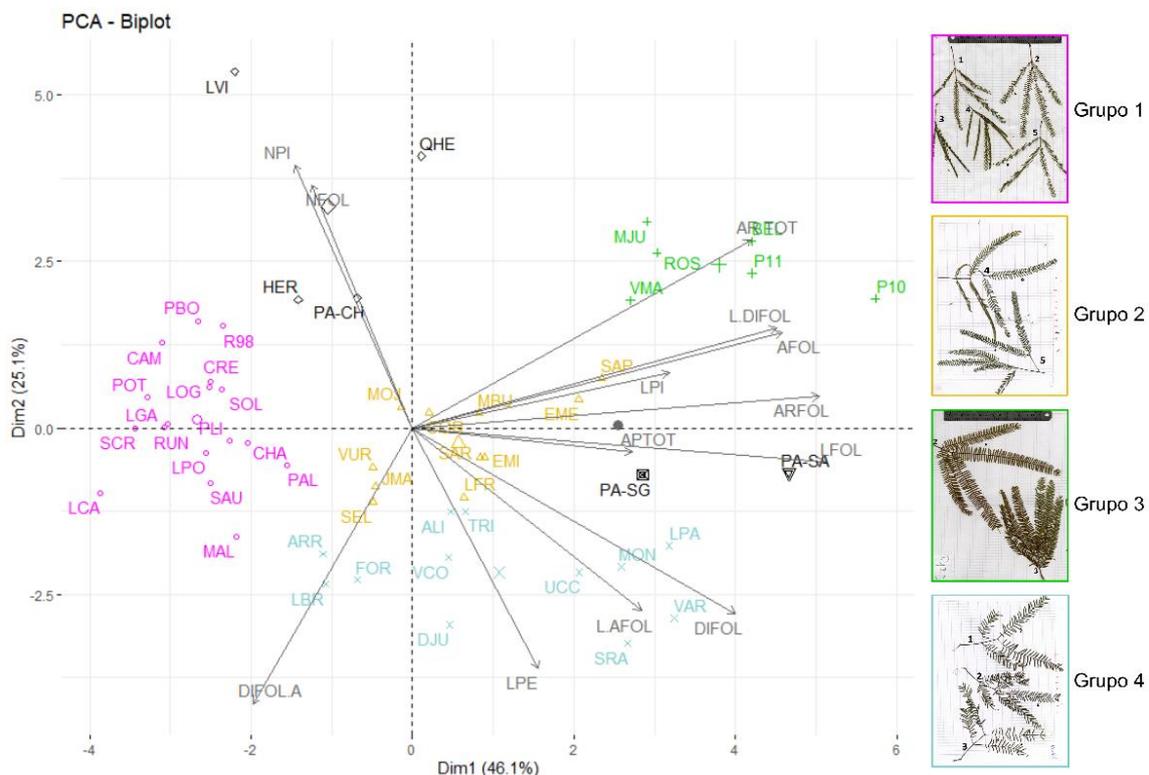


Figura 1. Biplot de los dos primeros ejes del ACP realizado con las 13 variables morfológicas de hoja de las 49 poblaciones de *N. alba*. Se incluyen los tres morfotipos (PA-CH, PA-SA y PA-SG). ejemplares de herbarios correspondientes a los árboles tipos representantes de cada grupo morfológico.

En el dendrograma (Figura 2) se aprecian las distancias morfológicas a las cuales se separan los grupos y morfotipos. En principio se observan dos grandes aglomeraciones, una conformada por el morfotipo chaqueño (PA-CH) y el Grupo 1, la otra por el morfotipo salteño (PA-SA) y el santiagueño (PA-SG) y los grupos restantes. Los morfotipos PA-SG y PA-SA, tienen una mayor afinidad con las poblaciones del Espinal, más precisamente con las que se ubican en el extremo sur de la distribución (Grupo 3). Por último, las poblaciones del Grupo 2 y 4, son las que se encuentran a una mayor distancia morfológica de los morfotipos. Las poblaciones HER, LVI Y QHE no se diferencian PA-CH.

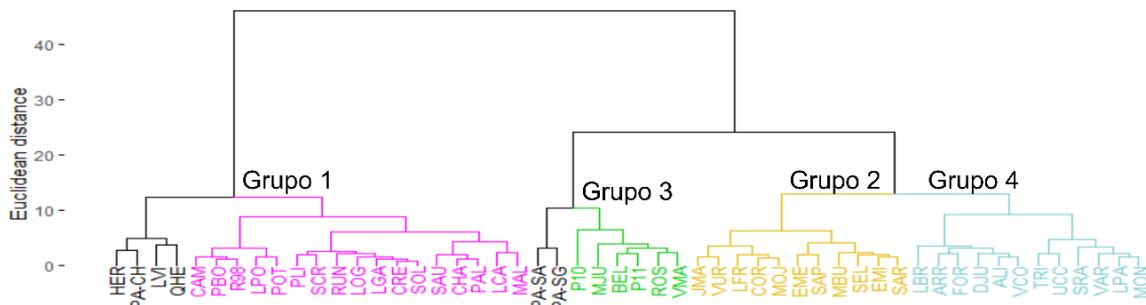


Figura 2. Dendrograma obtenido de la matriz de distancia morfológica a través del método de Ward. Se distinguen las 49 poblaciones y los tres morfotipos (PA-CH, PA-SA y PA-SG).

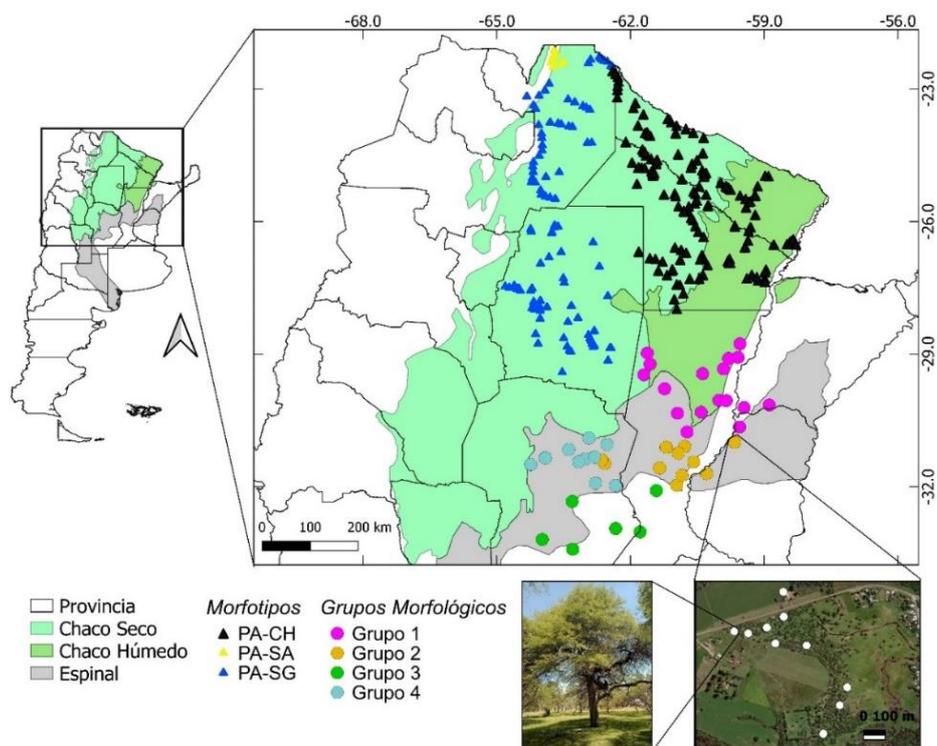


Figura 3. Representación geográfica de las poblaciones clasificadas por grupo morfológico y de los morfotipos en las ecorregiones de Argentina. Abajo se detalla la dispersión de 10 árboles muestreados en una de las poblaciones analizadas.

La distribución espacial de las poblaciones clasificadas por grupo morfológico (Figura 3) muestra que el Grupo 1 presenta la distribución más amplia respecto a los demás, contemplando el sur del Chaco Húmedo y el norte del Espinal, predominando en la provincia de Santa Fe. Por otro lado, el Grupo 4 y el Grupo 2 tienen una distribución sólo en el Espinal, que va desde el centro-oeste de la provincia de Córdoba hasta el oeste de Entre Ríos. Sin embargo, el Grupo 4 se ubica en una zona restringida de la franja del Espinal que atraviesa la provincia de Córdoba. Por último, el Grupo 3 contiene a las poblaciones del límite sur en las provincias de Córdoba y Santa Fe. Algo a destacar y que coincide con lo reportado por (Verga, 2009) es que los núcleos de cada grupo poseen características propias y diferenciales respecto a los demás.

4. CONCLUSIONES

Las técnicas empleadas permitieron diferenciar cuatro grupos morfológicos de *N. alba* en el sur de su distribución. Estos grupos, en complemento con los morfotipos ya determinados en el norte, contemplan todo el rango de distribución de la especie y con ello una adecuada representatividad de la variabilidad morfológica.



Asumiendo que cada uno de estos grupos poseen cierta identidad morfológica y que los rasgos que los caracterizan son consecuencia de su iteración con el ambiente, este trabajo supone una línea base para futuros estudios genético-evolutivos inherentes a la identificación de unidades de uso y conservación.

5. LITERATURA CITADA

- BESSEGA, C.; POMETTI, C.; EWENS, M.; SAIDMAN, B.O.; VILARDI, J.C. 2015. Improving initial trials in tree breeding using kinship and breeding values estimated in the wild: the case of *Prosopis alba* in Argentina. *New Forests*, 46(3), 427– 448. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9469-5>.
- BESSEGA, C.; SAIDMAN, B.O.; DARQUIER, M.R.; EWENS, M.; SÁNCHEZ, L.; ROZENBERG, P.; VILARDI, J.C. 2009. Consistency between marker- and genealogy-based heritability estimates in an experimental stand of *Prosopis alba* (Leguminosae). *American Journal of Botany*, 96(2), 458–465. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800074>.
- BRUNO, C.I.; BALZARINI, M.G. 2010. Ordenaciones de material genético a partir de información multidimensional.
- GALERA, F.M. 2000. Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico. UNC-Secretaría de Ciencia y Tecnología. Córdoba, Argentina. 269 pp.
- GRADOS, N.; CRUZ, G. 1996. New approaches to industrialization of algarrobo (*Prosopis pallida*) pods in Perú In: Felker P. and J. Moss Ed. *Prosopis: Semiarid fuelwood and forage tree building consensus for the disenfranchised*. Workshop. Washington D.C., U.S. 3.25-3.42.
- LEDESMA, T.; DE BEDIA, G.; LÓPEZ, C. 2008. Productividad de *Prosopis alba* Griseb. en Santiago del Estero. *Quebracho* 15(1):5-9.
- RUIZ, W. 1998. Evaluación económica de procesos para la obtención de productos de algarroba. Ponencia presentada en el Coloquio Internacional: “El algarrobo en el desarrollo sostenible después de El Niño” 1998, Piura, Perú.
- SAIDMAN, B.O. 1986. “Isoenzymatic studies of alcohol dehydrogenase and glutamate oxalacetate transaminase in four Southamerican species of *Prosopis* and their natural hybrids”. *Silvae Genetica* 35: 3-10. J. D. Sauerländer's Verlag Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries. ISSN 0037-5349 ISI: 0.3.
- TEICH, I.; VERGA, A.R.; LÓPEZ L.D.; VEGA, C.; SERSIC, A.; COSACOV, A. 2019. Patrones espaciales de variabilidad morfológica de *Prosopis alba* Griseb, en el Gran Chaco. Libro de resúmenes de la VIII Reunión de Genética y Mejoramiento Forestal (GeMFo). Pp.57-60
- VEGA, C. 2020. Caracterización morfológica, genética y climática en la zona de contacto entre *Prosopis alba* y el complejo *P. hassleri-P. fiebrigii* (Fabaceae). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC, Argentina. 163 pp.
- VERGA, A. 2014. Rodales semilleros de *Prosopis* a partir del bosque nativo. *Quebracho*, 19(1,2): 125–138.
- VERGA, A. 2015. Hoja 3.6. Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, CIAP, INTA. De distribución gratuita a pedido: anibal.r.verga@gmail.com.
- VERGA, A.; GREGORIUS, H.R. 2007. Comparing morphological with genetic distances between populations: A new method and its application to the *Prosopis chilensis* - *P. flexuosa* complex. *Silvae Genetica*, 56(2), 45–51. <https://doi.org/10.1515/sg-2007-0007>.
- VERGA, A.; NAVALL, M.; JOSEAU, J.; ROYO, O.; DEGANO, W. 2009. en las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal norte de. *Quebracho*, 17, 31–40.
- VERZINO, G.E.; JOSEAU, M.J. 2005. El banco nacional de germoplasma de *Prosopis*. Conservación de recursos forestales nativos en Argentina. UNC.



INCIDENCIA DE LA CORTA SOBRE LA DINÁMICA DE UN BOSQUE ALTO ABIERTO DEL CHACO HÚMEDO

Sebastian KEES¹, Miguel BRASSIOLO², Pablo PERI³

RESUMEN

El presente trabajo busca conocer la relación entre variables propias de la dinámica de un bosque alto húmedo en la provincia del Chaco ante diferentes intervenciones silviculturales después de 19 años de efectuada la corta. En una superficie de bosque de 5,4 hectáreas se combinaron dos métodos de corta (método de la masa, MM y método de árbol futuro, MAF) y dos intensidades de raleo (20 % y 33 %) en un diseño experimental de parcela dividida completamente aleatorizada con cuatro repeticiones. Se censaron todos los árboles vivos presentes con DAP mayor a 10 cm en los años 2004 y 2022, y a partir de estos datos se calcularon las variaciones basimétricas y diamétricas, las tasas de reclutamiento y mortalidad para cada tratamiento. Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales para determinar potenciales combinaciones lineales de las variables originales. Los resultados muestran que, considerando la corta, ambos métodos se relacionaron con el proceso de reclutamiento, por su parte el MAF con intensidades del 33% de remoción de área basal se asoció a los mayores incrementos diamétricos, mientras que el MM, independientemente de la intensidad de remoción de área basal estuvo asociado a un mayor crecimiento en área basal. La ausencia de cortas y la mortalidad de los pies remanentes dentro del periodo estudiado están fuertemente relacionadas.

Palabras Clave: *dinámica, bosques nativos, crecimiento, mortalidad y reclutamiento*

1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de los conceptos del manejo forestal sustentable, y sobre todo su implementación, requieren de procesos reiterativos e interactivos. En muchos casos se parte de un bosque degradado por sobreexplotación forestal con la finalidad de llegar a la situación de manejo forestal sustentable, proceso que conlleva mucho esfuerzo y tiempo (Grulke et al., 2007). Según lo establecido por Aguilar (2008), resulta de importancia estudiar fenómenos ecológicos a largo plazo. En este sentido, Vallejo et al. (2005) enfatizan que este tipo de estudios son fundamentales para el entendimiento de los cambios ambientales que ocurren en los ecosistemas para la implementación de planes adecuados de manejo, particularmente en el caso de los bosques tropicales y subtropicales. De acuerdo con Peri et al. (2021), las nuevas propuestas de manejo deben ser analizadas considerando la composición florística, el crecimiento y la estructura, abarcando periodos de tiempo similares a la duración de los ciclos de corta teóricos propuestos para bosques del Chaco Húmedo, para poder determinar el sistema más apropiado para cada situación. Este aspecto toma relevancia debido a que no existen estudios que evalúen el efecto del manejo sobre la estructura y composición específica del bosque alto húmedo del Chaco en tiempos compatibles con un ciclo de corta. El presente trabajo tuvo por objetivo brindar información acerca de la relación entre las variables representativas de la dinámica de un bosque alto del Chaco Húmedo en la provincia del Chaco frente a distintas intensidades y métodos de corta. Considerando las especies de interés comercial, se registró mayor cantidad en el proceso de mortalidad que en el reclutamiento.

¹ Campo Anexo Estación Forestal Plaza – Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). kees.sebastian@inta.gob.ar – Consejo Profesional de Ciencias Forestales del Chaco.

² Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (INSIMA) Facultad de Ciencias Forestales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un bosque de la Estación Forestal Plaza, Campo Anexo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Sáenz Peña, ubicada a los 59° 48' de longitud oeste y 26° 56' de latitud sur, a 75 msnm (Figura 1) en el extremo oeste del Distrito Chaqueño Oriental (Cabrera, 1971). Dentro de las grandes unidades de vegetación y ambiente del chaco argentino, Morello y Adámoli (1974) describen once subregiones en la provincia de Chaco y trece grandes tipos forestales. El área estudiada pertenece a la subregión de "Esteros, Cañadas y Selvas de Rivera" y al tipo forestal "Río de Oro"; de aproximadamente 16.773 km². Esta área pertenece a un enorme relieve fluvial, muy joven, elaborado por el sistema de ríos autóctonos de la llanura chaqueña (Río de Oro, ríos Guaycurú, Cangüí, Tragadero y Negro). El modelo de vegetación es el más heterogéneo del Chaco, con varios tipos de bosques, pastizales y pajonales (Morello y Adámoli, 1974). El clima es cálido, subtropical con estación seca. La temperatura promedio anual es de 21,5 °C, con una media de 15 °C en julio, el mes más frío, y una mínima media, también en el mes de julio, de 7 °C. El periodo libre de heladas es de 320 a 350 días por año (INTA, 2006). El bosque se encuentra sobre la serie Plaza (Pp), un Natrustalf Mólico, del orden de los Alfisoles. Sus principales problemas son escaso espesor del horizonte superficial donde se acumula la materia orgánica y el horizonte lixiviado que se encuentra cerca de la superficie, fuertemente sódico y moderadamente salino (Ledesma, 1992).

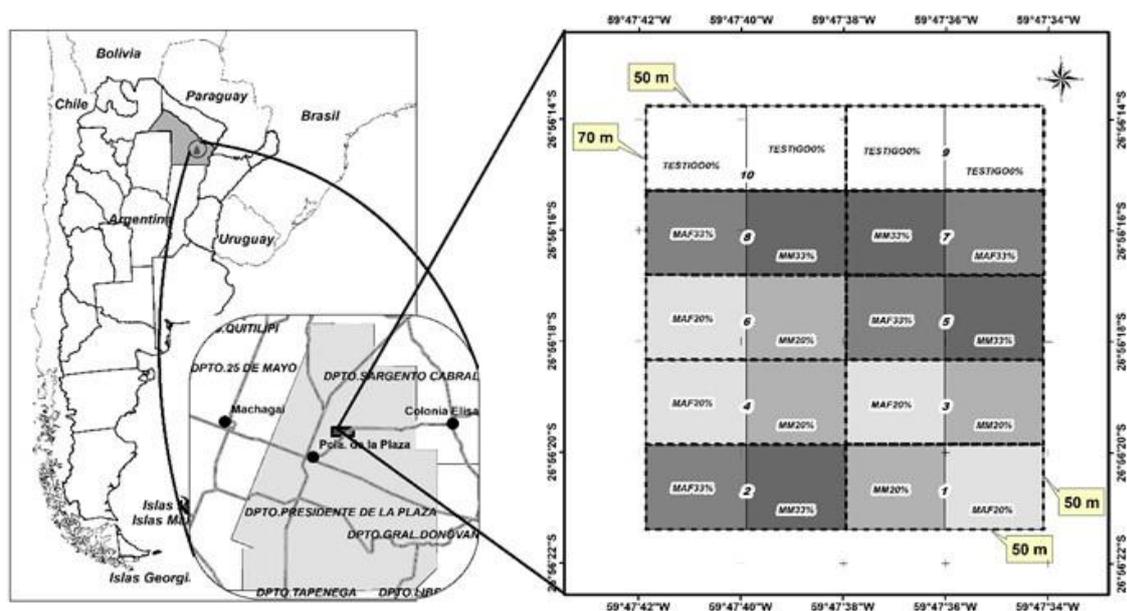


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio y croquis del experimento.

La superficie del ensayo es de 5,4 ha (Figura 1), donde se probaron dos tratamientos de corta combinados con dos intensidades de remoción de área basal y áreas sin corta (testigo), dispuestos en un diseño experimental de parcela dividida completamente aleatorizada y 4 repeticiones. Los tratamientos principales son las intensidades de remoción de área basal y ocupan la parcela de 1 ha y los métodos, subparcelas de 0,5 ha cada una. Las intensidades de extracción representaron 20 % y 33 % del área basal (G) de la parcela. A su vez en las subparcelas se aplicaron dos métodos diferentes para la elección de los individuos a extraer. Uno de ellos estuvo orientado por la curva de distribución ideal, o método de la masa (MM), para lo cual se aplicó el procedimiento propuesto por Schütz 1989 (citado por Grulke, 1994) y luego se seleccionaron los individuos de las clases diamétricas mayores, cortables; cuando fue necesario se completó el porcentaje preestablecido con pies sobrantes de las clases diamétricas inferiores. El otro método (MAF – Método del Árbol Futuro) se basó en la liberación de árboles de futura cosecha priorizando ejemplares a promocionar y cortando el competidor más cercano hasta completar el porcentaje de extracción de área basal. Se utilizaron los datos censales de cada subparcela en los años 2004 y 2022 de los pies vivos de todas las especies con DAP mayor a 10 cm. A partir de estos datos se calculó el incremento o variación en área basal, la tasa anual de



mortalidad (TMC), la tasa anual de reclutamiento (TRC) y el incremento medio anual en DAP de las especies forestales comerciales. Las variaciones en área basal se determinaron a partir de las diferencias entre valores de los años 2004 y 2022. La TMC y TRC se calcularon empleando modelos propuestos por varios autores para bosques subtropicales (Iturre et al., 2020; Melo y Vargas, 2003, Londoño y Jiménez, 1999). Los incrementos en diámetro de los árboles favorecidos por cada método de selección se calcularon siguiendo la metodología empleada por Humano (2013). A partir de estos resultados se realizó un análisis de componentes principales para determinar potenciales combinaciones lineales de las variables originales que representen la variabilidad presente en los datos según lo establecido por Sánchez (2009) empleando el software Navure versión 2.2.2. Es decir, se efectuó un análisis factorial de componentes principales para encontrar correlación entre las variables calculadas con las intensidades de corta y métodos aplicados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los valores descriptivos por método e intensidad probados.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de las variables analizadas por cada combinación de método e intensidad probados.

Variable	MAF20		MAF33		MM20		MM33		Testigo	
	Media	desvío estándar	Media	desvío estándar						
TMC (%)	1,68	0,87	1,23	0,79	1,03	0,74	1,55	1,23	3,78	0,40
TRC (%)	2,40	0,72	3,30	0,82	3,20	0,65	3,78	1,22	0,90	0,27
Inc. DAP (cm/año)	0,28	0	0,32	0	0,25	0	0,26	0	0,24	0
Inc. área basal (m ² /ha/año)	1,10	3,36	2,10	1,93	3,47	2,59	3,96	2,92	-4,41	1,60

En todos los tratamientos con corta la TRC fue de 1,4 a 2,4 veces mayor que TMC, a excepción de lo registrado en las áreas sin corta (testigo), lo cual indica que la corta promovió que el ingreso de individuos jóvenes sea mayor que la mortalidad. Los incrementos en diámetro y en área basal fueron mayores en las áreas cortadas en comparación con el testigo. En el caso de la TMC, los valores encontrados fueron similares a los valores de bosques secos tropicales de Costa Rica, en estadio sucesional temprano y tardío, 1,3 % y 1,5 % respectivamente, según lo determinado por Carvajal – Vanegas y Calvo – Alvarado (2013), mientras que, para la TRC, estos valores superan a los informados por Aguirre – Mendoza et al. (2022) quienes presentaron un valor medio de 0,13 % para un bosque andino en Ecuador.

Se registraron 14 especies pertenecientes a 10 familias, para ambos años (Cuadro 2), es decir que no hubo variación en el número de especies para el periodo. Respecto al reclutamiento, se relevaron reclutas pertenecientes a 8 familias botánicas y 9 especies de interés comercial.

Cuadro 2. Especies relevadas para los análisis de mortalidad y reclutamiento.

Nombre vulgar	Nombre científico	Familia	Mortalidad	Reclutamiento
Algarrobo negro	<i>Neltuma nigra</i>	Leguminosas	X	
Espina corona	<i>Gleditsia amorphoides</i>	Leguminosas	X	X
Francisco alvarez	<i>Pisonia zapallo</i>	Nictagináceas	X	X
Guayacan	<i>Caesalpinia paraguariensis</i>	Leguminosas	X	
Guayaibi	<i>Cordia americana</i>	Borraginaceas	X	X
Ibira pita i	<i>Ruprechtia laxiflora</i>	Poligonáceas	X	X
Itin o Carandá	<i>Neltuma Kuntzei</i>	Leguminosas	X	X
Lapacho	<i>Handroantus impetiginosus</i>	Bignoneaceas	X	
Palo lanza	<i>Phillostillon rhamnoides</i>	Ulmáceas	X	X
Palo mora	<i>Maclura tinctoria</i>	Moráceas	X	X
Palo piedra	<i>Diplokeleba floribunda</i>	Sapindáceas	X	X
Quebracho blanco	<i>Aspidosperma quebracho - blanco</i>	Apocináceas	X	
Quebracho colorado chaqueño	<i>Schinopsis balansae</i>	Anacardiáceas	X	
Urunday	<i>Astroniu balansaie</i>	Anacardiáceas	X	X



El análisis de componentes principales (ACP) para las combinaciones de métodos e intensidades probados (Figura 2) indica que la primera componente (CP1) explicó el 78 % de la variabilidad total, separó el tratamiento testigo del resto de los tratamientos. Además, CP1 se asoció positivamente con la TMC y de forma negativa con la TRC y los incrementos en diámetro y área basal. El MAF 33 % mostró asociación al incremento en diámetro, y el MM a la TRC y al incremento en área basal con independencia de las intensidades probadas. El MAF con 20 % de intensidad de extracción no se asoció a ninguna de las variables evaluadas.

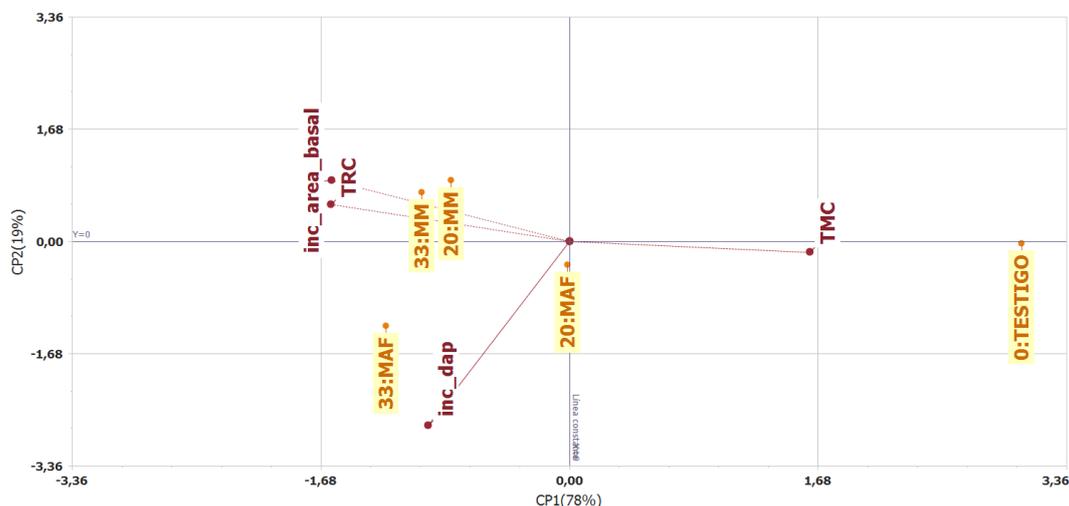


Figura 2. Gráfico Biplot del análisis de componentes principales (ACP) para cada tratamiento.

La CP1 separó claramente las tasas de mortalidad y reclutamiento en especies comerciales. Desde el punto de vista silvicultural, los tratamientos de raleo se asocian en mayor medida a la tasa de reclutamiento, incremento en área basal e incremento diamétrico, es decir que la corta favorece estos procesos.

Cuadro 3. Matriz de Correlación de Pearson de las variables analizadas.

Variable	TMC	TRC	inc_dap	inc_area_basal
TMC	1	<0,0001	0,0083	<0,0001
TRC	-0,8013	1	0,0182	<0,0001
Inc dap	-0,5257	0,4778	1	0,0472
Inc área basal	-0,9219	0,7974	0,4091	1

Coefficientes de correlación por debajo de la diagonal principal. Valores-p por encima de la diagonal principal.

El Cuadro 3 muestra que la TMC presenta correlaciones negativas con las demás variables; mientras que la TRC presenta correlación positiva con los incrementos basimétrico y diamétrico respectivamente. Asimismo, la correlación entre ambos incrementos es positiva. Estos resultados, concuerdan con lo establecido por Wenzel y Hampel (1998) para bosques dominados por especies esciófitas y en estadios sucesionales avanzados, en la que existe la necesidad de cierto nivel de protección de los renovales establecidos en función del temperamento delicado de muchas de las especies reclutadas, lo que determina que sitios con alta cobertura (o área basal) se relacionen con tasas bajas de reclutamiento y altas tasas de mortalidad debido a la competencia. La reacción positiva de la mayoría de las parcelas intervenidas coincide con lo expresado por Quiroz (2001) en que la corta estimula las tasas de crecimiento de los ejemplares remanentes, al aprovechar los espacios generados para desarrollarse y aprovechar la mayor cantidad de recursos disponibles.

4. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de la corta, el MAF con intensidades del 33% de remoción de área basal se asoció a los mayores incrementos diamétricos, mientras que el MM, independientemente de la intensidad de remoción de área basal estuvo asociado a un mayor crecimiento en área basal, no obstante, ambos métodos estuvieron relacionados al proceso de reclutamiento. La ausencia de cortas y la mortalidad de los pies remanentes dentro del periodo estudiado están fuertemente relacionadas.



5. LITERATURA CITADA

- AGUILAR, M. 2008. Evaluación de la Dinámica forestal en el bosque montano de la selva Pichita APRODES en Chanchamayo, Selva Central del Perú. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú. UNALM. 129 p.
- AGUIRRE MENDOZA, Z.H.; MERCHÁN GRANDA, J.P.; GEADA LÓPEZ, G. 2022. Dinámica de crecimiento de especies forestales en el bosque andino del Parque Universitario "Francisco Vivar Castro", Loja, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 10(3): 292-306.
- CABRERA, A. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XIV: 1-42
- CARVAJAL-VANEGAS, D.; CALVO-ALVARADO, J. 2013. Tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento de vegetación en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 10(25): 1-12. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v10i25.1371>
- GRULKE, M.; BRASSIOLO, M.; SOTO, G.; LANNES, F.; OBST, K.; MICHELA, J. 2007. Manual para el manejo forestal sustentable de los bosques nativos de la provincia del Chaco. Resistencia, Argentina. Ministerio de Producción, provincia del Chaco. 216 p.
- GRULKE, M. 1994. Propuesta de manejo silvopastoril en el Chaco Semiárido. *Revista de Ciencias Forestales Quebracho* 2: 5-13.
- NAVURE TEAM. 2023. A data-science-statistic oriented application for making evidence-based decisions. URL <http://www.navure.com>
- HUMANO, C.A. 2013. Modelado de la dinámica y producción forestal de la Selva Pedemontana de Yungas, Argentina. Tesis de Maestría. Universidad de Buenos Aires. 143 p.
- INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2006. Serie estadística 2005. 15 p.
- ITURRE, M.C.; ARAUJO, P.A.; RUEDA, M.P.; RUEDA, C.V.; PECE, M.G. 2020. Reclutamiento y mortalidad de las principales especies arbóreas del Chaco Semiárido, Argentina. *Revista Quebracho* 28(2): 134-144.
- LEDESMA, L. 1992. Carta de suelos de los campos anexo Lote V y Estación Forestal Plaza. INTA EEA Sáenz Peña. 90 p.
- LONDOÑO, A.C.; JIMÉNEZ, E.M. 1999. Efecto del tiempo entre los censos sobre la estimación de las tasas anuales de mortalidad y de reclutamiento de árboles (períodos de 1, 4 y 5 años). *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 14(1): 41-58.
- MELO, O.; VARGAS, R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima, CRQ, Carder. Corpocaldas, Cortolima. 235 p.
- MORELLO, J.; ADAMOLI, J. 1974. La Vegetación de la República Argentina. Las Grandes Unidades de Vegetación y Ambiente del Chaco Argentino. Segunda Parte: Vegetación y Ambiente de la Provincia del Chaco. INTA. 130 p.
- PERI, P.; CHAUCHARD, L.; BROWN, A.; LA ROCCA, S.; FERNÁNDEZ, N.; AMOROSO, M., CAMPANELLO, P.; HILGERT, N.; BERGESIO, L.; MALIZIA, M.; GARCÍA MORITÁN, M.; BALDUCCI, E.; POLITI, N.; ROJAS, F.; CASTILLO, L.; MARTÍNEZ PASTUR, G. 2021. Capítulo 4. Historia y situación actual del uso del bosque nativo y principales técnicas silvícolas. En: *Uso Sostenible del Bosque Nativo: Aportes desde la Silvicultura Argentina*. Pablo Luis Peri; Guillermo Martínez Pastur; Tomás Schlichter Editores. ISBN 978-987-46815-4-6
- QUIRÓS M, D. 2001. Tratamientos silviculturales. En: Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. Eds. *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, CR, CATIE. p.131-153.
- SÁNCHEZ, C. 2009. Análisis de componentes principales. Recuperado de: http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOSPHP/MATERIALESMATER/Mat_14_master0809multi-tema5.pdf
- VALLEJO, M.; LONDOÑO, A.; LÓPEZ, R.; GALEANO, G.; ALVAREZ, E.; DEVIA, W. 2005. Métodos para estudios ecológicos a largo plazo: Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia 310 p.
- WENZEL, M. y HAMPEL, H. 1998. Regeneración de las principales especies arbóreas del Chaco húmedo argentino. *Quebracho* 6: 5-18. 14 p.



APORTES A LA MITIGACIÓN Y ADAPTABILIDAD DE LAS FORESTACIONES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DE LA REGIÓN PAMPEANA

Javier GYENGE¹, María Elena FERNÁNDEZ¹

RESUMEN

El cambio climático impone el desarrollo de nuevas normas de manejo de los sistemas productivos que contemplen los servicios de mitigación (secuestro de gases de efecto invernadero) y su adaptabilidad (mantenimiento de su capacidad productiva ante la fluctuación del clima). Para la región pampeana se prevé un aumento de la fluctuación climática, con una mayor frecuencia y duración de olas de calor. Siendo la agricultura y ganadería las principales actividades productivas de esta región, la introducción de árboles permitiría aumentar el secuestro de Carbono y disminuir el efecto nocivo de olas de calor tanto sobre los cultivos como el ganado. Sin embargo, la información actual sobre la prestación de estos servicios es escasa y parcial, siendo necesario un mayor número de estudios que permitan establecer normas de manejo acordes con la prestación de estos servicios ambientales.

Palabras clave: *Cambio climático, sistemas climáticamente inteligentes, sistemas agroforestales.*

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) impone nuevos desafíos a los sistemas productivos por la fluctuación climática y/o por aumento de la presión social sobre la forma tradicional en que se llevan adelante que le exige nuevas responsabilidades y estrategias. En este marco, la **mitigación** es la acción que se genera para ocuparse del aumento de gases de efecto invernadero (GEI) responsable del CC mientras que la **adaptación** son todos aquellos cambios que se llevan adelante en las prácticas habituales de manejo realizadas con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad del sistema a la fluctuación climática (Libert-Amico et al., 2024). Los principales GEI, dado su potencial de calentamiento global, son el dióxido de Carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Dado el incremento en la concentración de GEI en la atmósfera, la comunidad política y la científica se centraron en generar mecanismos que disminuyan la emisión y que potencien la mitigación, destacándose los sistemas leñosos como herramientas positivas por su manifiesta capacidad de generar diversos servicios ecosistémicos. En este marco, Argentina se ha propuesto potenciar los mecanismos que tiendan a preservar y/o aumentar la superficie de bosques y plantaciones forestales (SAyDS, 2015). Por otro lado, la gestión forestal sostenible lleva implícito la incorporación del CC en su planificación y, por lo tanto, debe contener prácticas de manejo que faciliten la adaptación del sistema a los cambios en la disponibilidad de recursos claves. Las formaciones de árboles, tanto en bosques como los ubicados en sistemas agrícolas o urbanos, son un recurso natural que aporta a la adaptación y mitigación del CC (Libert-Amico et al., 2024). Por este motivo, el principal objetivo del manejo de sistemas forestales destinados a brindar servicios de mitigación también debería estar orientado a mantener la adaptabilidad de estos, de manera tal de sostener la prestación de servicios ecosistémicos.

En este trabajo nos centraremos en la ecorregión pampeana, conformada principalmente por los pastizales situados en la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba, haciendo hincapié en los servicios ambientales que los sistemas forestales pueden brindar en la región. Estos pastizales naturales han sido reemplazados en mayor proporción por la agricultura en los sitios con menores condicionamientos (suelos profundos o zonas de mayor precipitación media anual) mientras que han sido sometidos a la ganadería, o se han introducido forestaciones, en los que presenten algún grado de limitación (Baeza et al., 2022). Estos autores mostraron que el área sometida a la agricultura triplica a la de los pastizales, aunque los pastizales aumentaron en 0,3 Mha desde el 2001 al 2018. Las

¹ IPADS Balcarce (INTA CONICET), Grupo Ecología Forestal Tandil. gyenge.javier@inta.gob.ar; fernandez.maria@inta.gob.ar



cuenca forestales del centro del país (provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires) totalizan actualmente 82.994 ha (79.747 y 3.247 ha como macizos y cortinas, respectivamente), donde en el 48 % de la superficie se cultivan distintas especies de *Eucalyptus* y el 25 % con especies de *Pinus*¹. Sin embargo, es posible aumentar esta superficie forestal teniendo en cuenta los sitios con suelos ganaderos y agrícolas-ganaderos, integrándose a los sistemas productivos tradicionales como se indica en el informe del Consejo Federal de Inversiones (2018). Tal como menciona dicho informe, no se incluyó en dicho cálculo las superficies de tierra con aptitud agrícola de alta productividad (índices >70).

Los modelos climáticos estiman un aumento en la frecuencia de olas de calor y de la aparición de precipitaciones intensas y/o aumento en la distribución temporal de las mismas en algunas regiones, como la pampeana (SAyDS, 2015). En esta región, existe un gradiente suave de descenso de la temperatura promedio en el sentido NE al SO, y de manera similar, la precipitación media anual (PMA) actual también sigue un gradiente con promedios de 1000 mm año⁻¹ al NE y menos de 800 mm año⁻¹ al SO (Barros et al., 2013). A la vez, las precipitaciones se distribuyen de manera más homogénea en el año al NE ocurriendo con mayor frecuencia en la parte cálida del año en el SO de la provincia de Buenos Aires (Barros et al., 2013). Los modelos también indican una alta probabilidad de que la isoterma de 26 °C (durante el mes más cálido) se desplace hacia el este en su límite superior y hacia el SO en su porción media e inferior de la región (Rolla et al., 2019). Esto significa que la isoterma podría desplazarse en el futuro, desde el centro de las provincias de Santa Fe y Entre Ríos hasta el sur de dichas provincias o incluso hasta el centro de la provincia de Buenos Aires, dependiendo el escenario climático y la proyección temporal. Esto es importante ya que indicaría un aumento del estrés calórico para el ganado vacuno de origen europeo, restringiendo el territorio actual de su distribución. De esta manera, el escenario climático previsto a futuro indicaría la aparición de eventos cortos pero fuertes, momento en el cual se debería contar con normas y herramientas que permitan adaptar los sistemas a estas fuentes de estrés que aparecerían de manera más o menos recurrente.

Finalmente, la expansión agropecuaria en el ecosistema pampeano generó cambios ambientales de distinta índole. Más allá de las pérdidas de biodiversidad propia de los pastizales naturales, diversos autores ponen de manifiesto la disminución de nutrientes y de Carbono orgánico del suelo (COS), que alcanzarían hasta un 36 % de pérdida según el área (Wyngaard et al., 2022). Estos autores mencionan que las mayores pérdidas se observaron en los sitios más ricos en COS y sometidos a una mayor frecuencia de ciclos de cultivo de soja. En cuanto a los pastizales naturales sometidos a pastoreo, no se detectaron diferencias significativas de COS transcurridos 12 años de uso (del año 2007 al 2019; Álvarez et al., 2021). Por el contrario, la introducción de especies forestales generó un aumento significativo del COS, siendo superior a los encontrados en pastizales (Berhongaray et al., 2013). Así, los árboles en estos sistemas tradicionales podrían servir para incrementar su capacidad de mitigación.

En este marco, el objetivo del trabajo es el de discutir la capacidad de las plantaciones forestales introducidas en el pastizal de la ecorregión pampeana de brindar servicios ecosistémicos ligados con la mitigación y el aumento de la adaptabilidad al cambio climático de los sistemas productivos agropecuarios tradicionales de la región.

1.1 Árboles y forestaciones y la capacidad de mitigar GEI

1.1.1 Biomasa: Los sistemas forestales almacenan gran cantidad de C en biomasa. Por ejemplo, plantaciones de 21 años de *P. radiata* alcanzaron 227 Mg ha⁻¹ de biomasa total, contabilizándose en el fuste unos 148 Mg ha⁻¹ (Ferrere y Lupi, 2023). Esto representa una tasa de fijación anual de CO₂equivalente de 20 y 13 Mg CO₂eq año⁻¹ ha⁻¹, comparable con las estimaciones realizadas para esta especie a partir de las estadísticas promedio para la provincia de Buenos Aires (de 17,6 a 26,4 Mg CO₂eq año⁻¹ ha⁻¹; Gyenge et al., 2022 b). A partir de ecuaciones de biomasa de Ferrere et al. (2014), se estimó que es posible cosechar un total de entre 440 a 625 Mg ha⁻¹ (entre 27 y 38 Mg CO₂eq año⁻¹ ha⁻¹ en turnos de 30 años) en las sucesivas intervenciones (raleos) a lo largo de un ciclo de plantación de *E. viminalis* (Gyenge et al., 2019). Estos valores son similares a la biomasa en pie estimada para rodales de la misma especie de 10 y 14 años (Ferrere et al., 2008). Usando estas estadísticas es posible

¹ <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php>



estimar tasas de acumulación en fuste de entre 26 y 50 Mg CO₂eq año⁻¹ ha⁻¹ para distintas especies de *Eucalyptus* spp. y de entre 13 y 18,4 Mg CO₂eq año⁻¹ ha⁻¹ para *Populus* (Gyenge et al., 2022 b). Estas tasas pueden sobreestimar la capacidad de acumulación de C visto que son mayores a las estimadas para bosques y forestaciones situadas en otras regiones del país. Por este motivo, es necesario incrementar las investigaciones en la región para estimar tasas de crecimiento de las forestaciones según las condiciones de sitio.

1.1.2 Carbono orgánico del suelo: El COS fue mayor en suelos forestales que en otros usos en todas las profundidades de suelo considerada (Berhongaray et al., 2013), estimándose valores promedios para los primeros 30 cm de suelo de 198, 345 y 128 Mg CO₂eq ha⁻¹ para plantaciones de *Eucalyptus*, *Pinus* y *Populus*, respectivamente (Gyenge et al., 2022a). En el caso de las especies de *Eucalyptus*, si bien el COS aumenta con la edad de las forestaciones, el impacto negativo sobre el mismo en la etapa de plantación es mayor en zonas más húmedas que secas (Berthrong et al., 2012). En las zonas más húmedas, generalmente con suelos más ricos en COS, la productividad forestal es mayor permitiendo una tasa anual de acumulación más alta que en los sitios más secos, lo que permitiría una recuperación e incluso aumento del COS original (al menos en la cantidad sin considerar la distribución de tamaños de partículas de COS). Sin embargo, más allá de esto, es importante resaltar que estos trabajos hacen hincapié sobre la necesidad de generar forestaciones de al menos 40 años en los sitios con más de 1500 mm de PMA para poder reestablecer valores positivos de COS en relación con la línea de base (Berthrong et al., 2012). Esto, además de exceder los turnos de corta esperados, podría acarrear otros problemas relacionados con la redistribución de sales en el suelo (Milione et al., 2020). En el caso de las plantaciones con *Pinus* spp., distintos estudios ponen en evidencia que su introducción en pastizales puede incrementar el COS (Gyenge et al., 2022a). En el caso de las dunas, se detalla además un mayor efecto en la zona media que en la cresta o en su base, lo que habla del efecto de variables ambientales sobre la magnitud que puede alcanzar este servicio ecosistémico (Amiotti et al., 2014). Con respecto a las plantaciones de *Pinus* en las sierras de Tandil, Ferrere y Lupi (2023) encontraron que el 63 % del C de la forestación estaba en los suelos, observando una disminución del COS con la edad de las forestaciones, sobre todo en el perfil de suelo por debajo de los 25 cm. En estos casos, el desarrollo de forestaciones ralas, como las necesarias para llevar adelante sistemas silvopastoriles, generarían condiciones ambientales que favorecen la descomposición de la materia orgánica, como fue observado en España (Ferreiro-Domínguez et al., 2022). Así, la introducción de árboles en pastizales muestra aspectos interesantes para ser usados como herramientas de mitigación por su capacidad de fijar C atmosférico, quedando abierta la posibilidad de plantear manejos específicos que permitan maximizar este servicio ambiental (por ej., selección de género a plantar y manejo durante la plantación y durante el crecimiento activo de los árboles).

1.1.3 Metano (CH₄): Este GEI se genera naturalmente en ambientes anóxicos del suelo, siendo la mayor fuente antrópica para la región pampeana las emisiones realizadas por los rumiantes (SAyDS, 2015). Si bien el principal sumidero del CH₄ es la estratósfera, una parte significativa se produce en bacterias metanótrofas presentes en los suelos aireados. Los escasos estudios llevados adelante en esta región demuestran que los suelos forestales poseen una mayor capacidad de oxidar CH₄ que los suelos sometidos a otros usos. Así, en promedio, la tasa de mitigación de CH₄ de los suelos de plantaciones de *Eucalyptus*, pastizales y cultivos fueron de 87, 70 y 36 kgCO₂eq ha⁻¹año⁻¹ respectivamente (de Bernardi et al., 2022), mientras que las de *Pinus*, pastizales y cultivos fueron de 157, 90 y 57 kgCO₂eq ha⁻¹año⁻¹, respectivamente (de Bernardi et al., 2024). Así, todos los suelos han demostrado ser sumideros de CH₄. En cuanto al manejo forestal, un metaanálisis mundial indicó que, en promedio, los suelos forestales oxidan más CH₄ que los pastizales y que la magnitud del servicio depende de diversas variables ambientales, encontrando un efecto significativo de la edad (positivo) y la densidad de plantación (negativo cuando >1500 planta ha⁻¹; Gatica et al., 2022). Este aumento en la capacidad de mitigar CH₄ se asoció fuertemente con el contenido de agua en el suelo, cuya disminución en suelos forestales favorece la difusión de los gases (de Bernardi et al., 2022; Gatica et al., 2022).

1.1.1 Óxido Nitroso (N₂O): Su importancia como GEI radica en que posee una actividad 264 veces mayor que el CO₂. Su emisión aumenta cuando los poros del suelo están vacíos de agua ya que



depende del balance entre los procesos de nitrificación. Solamente encontramos un estudio realizado en Entre Ríos en donde se midió la emisión de cuatro forestaciones con *E. grandis* y un bosque nativo, evidenciando la baja tasa de emisión de todas ellas (Álvarez et al., 2020). Las emisiones acumuladas durante el año en las plantaciones situadas en suelos de textura más gruesa fueron significativamente más bajas que en las ubicadas en suelos finos, alcanzado valores promedios de 8,4 y 51 kgCO₂eq ha⁻¹año⁻¹ contra 158 registrado en el bosque nativo. Para tener un horizonte de comparación, en suelos semiáridos pampeanos se midió una emisión durante barbecho y el ciclo de cultivo de 125 y 1278 kgCO₂eq ha⁻¹año⁻¹ (Alvarez et al., 2012). Esto pone de manifiesto que los sistemas forestales emiten menos N₂O, por lo que su introducción, al menos, no significaría un aumento de la emisión.

1.2 Árboles y forestaciones y la capacidad de mejorar la adaptabilidad de los sistemas

Las cortinas forestales generan impactos de distinta magnitud y sentido dependiendo de varios factores ambientales (dirección preponderante del viento, desplazamiento de las sombras, entre otros), pero en general, se observa competencia con los cultivos por agua, nutrientes y radiación solar en sitios cercanos (distancias de una a tres veces la altura de la cortina) y, facilitación por disminución del viento que aumenta la eficiencia en el uso de la radiación a mayores distancias (de tres a veinte veces su altura; Masters et al., 2023). Prácticamente no hay registros publicados sobre el uso de barreras rompevientos en la región pampeana. A nivel regional, es posible citar que en La Pampa, tanto el rendimiento del grano con el índice de cosecha del trigo fue distinto con protección que sin ellos, observándose aumentos y disminuciones dependiendo de la ubicación geográfica y tipo de protección (Boldes et al., 2002). De todas maneras, existen publicaciones sobre cultivos tradicionales para la región llevados adelante en otras partes del mundo. Así, en Australia, se observó un efecto positivo significativo e interactivo de la distancia y la orientación de la cortina sobre la tasa de emergencia de plántulas y los días hasta antesis y maduración en trigo, con un efecto marcado sobre la cantidad de espigas, que determinó cambios en la producción e índices de cosecha (Sudmeyer y Speijers, 2007). Es importante resaltar que el efecto de la cortina sobre el viento también afectó la incidencia de enfermedades por hongos en los cultivos (Sudmeyer y Speijers, 2007). Finalmente, una revisión sobre el uso de las cortinas forestales en EE.UU. indica que el uso de estas permitió incrementar el rendimiento en distintos cultivos de interés con magnitudes de un 6 % en avena, 12 % en maíz, 16 % en soja, 20 % en forraje, 22 % en trigo, 25 % en cebada, entre otros (Smith et al., 2021).

La disminución del viento también tiene efectos positivos sobre el ganado, sobre todo en momentos de extremos climáticos (olas de calor o frío). Así, la cantidad de energía que necesitan los animales para mantener su temperatura aumenta con la velocidad del viento, siendo este factor cada vez más importante a medida que disminuye la temperatura del aire (Masters et al., 2023). Más allá del efecto sobre la ganancia de peso o la mortalidad, las altas temperaturas también afectan negativamente el desarrollo embrionario, el ciclo estral, la fertilización, la movilidad espermática, entre otros factores reproductivos (Masters et al., 2023). En la región pampeana es conocido el efecto del calor sobre el desempeño animal, sugiriendo la incorporación de sombra y el acceso al agua como herramientas de manejo que permiten disminuir sus efectos. Finalmente, la magnitud del aporte de los árboles dependerá de la composición específica de la cortina o monte (altura y densidad de la copa), así como la densidad de plantas y su distribución en el espacio, siempre considerando la interacción con las variables ambientales de interés (dirección de vientos predominantes, principal pico de estrés en invierno o verano, latitud, entre otros factores; Masters et al., 2023).

2. CONCLUSIONES

La introducción de sistemas forestales en la región pampeana permitiría incrementar tanto la mitigación como la adaptabilidad al CC de los sistemas de producción primaria. Sin embargo, existe una escasa información local que permita estimar la magnitud en que los mismos permiten disminuir el impacto de los principales factores de estrés para la producción agropecuaria de la región (olas de calor o sequía).

3. LITERATURA CITADA

ALVAREZ, C.; COSTANTINI, A.; ALVAREZ, C.R.; et al. 2012. Soil nitrous oxide emissions under different management practices in the semiarid region of the Argentinian Pampas. *Nutrient Cycl Agroecos* 94, 209–220.



- ALVAREZ, C.R.; RIMSKI-KORSAKOVA, H.; LUPI, A.M.; et al. 2020. Soil nitrous oxide emissions from *Eucalyptus* plantation in Argentina. *Forest Ecol and Manage* 473: 118301.
- BAEZA, S.; VÉLEZ-MARTÍN, E.; DE ABELLEYRA, D.; et al. 2022. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomass Pampa initiative. *Remote Sens Appl: Soc Environ* 28: 100934.
- BARROS, V.; VERA, C.; AGOSTA, E.; et al. 2013. Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. Vol. 2 y 5.
- BERHONGARAY, G., ÁLVAREZ, R., DE PAEPE, J., CARIDE, C., CANTET, R. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. *Geoderma* 192: 97–110.
- BERTHRONG, S.T.; PIÑEIRO, G.; JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. 2012. Soil C and N changes with afforestation of grasslands across gradients of precipitation and plantation age. *Ecological Applications* 22:76–86.
- BOLDES, U.; GOLBERG, A.; MARAÑÓN DI LEO, J.; et al. 2002. Canopy flow and aspects of the response of plants protected by herbaceous shelterbelts and wood fences. *J Wind Engin and Ind Aerod* 90: 1253-1270.
- DE BERNARDI, M.; PRIANO, M.E.; FERNÁNDEZ, M.E.; et al. 2022. Impact of land use change on soil methane fluxes and diffusivity in Pampean plains, Argentina. *Agric Ecosys Environ* 309: 107866.
- DE BERNARDI, M.; PRIANO, M.E.; FERNÁNDEZ, M.E.; et al. 2024. Natural grassland conversion to agriculture or pine plantations: Effects on soil methane uptake. *Soil Use Manage* 40:e13017.
- FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N.; RODRÍGUEZ-RIGUEIRO, F.J.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. 2022. Climate Change and Silvopasture: The Potential of the Tree and Weather to Modify Soil Carbon Balance. *Sustainability* 14, 4270.
- FERRERE, P.; LUPI, A.M. 2023. How much carbon do Argentine Pampas *Pinus radiata* plantations store? *Forest Systems* 32: e005. doi.org/10.5424/fs/2023321-19703.
- FERRERE, P.; LUPI, A.M.; BOCA, R. 2014. Estimación de la biomasa aérea en árboles y rodales de *Eucalyptus viminalis* Labill. *Quebracho* 22: 100-113.
- FERRERE, P.; LUPI, A.M.; BOCA, R.; NAKAMA, V.; ALFIERI, A. 2008. Biomasa en plantaciones de *Eucalyptus viminalis* Labill. De la provincia de Buenos Aires. *Ciencia Florestal* 18: 291-305.
- GATICA, G.; FERNÁNDEZ, M.E.; JULIARENA, M.P.; et al. 2022. Does forest management affect the magnitude and direction of the afforestation effect on soil methane fluxes? A meta-analysis. *For Ecol Manage* 507: 120009
- GYENGE, J.; GATICA, M.G.; SANDOVAL, M.; et al. 2022a. Estimación de las reservas de carbono orgánico del suelo con plantaciones forestales y otros usos de la tierra, en distintas regiones de Argentina. 97pp.
- GYENGE, J.; LUPI, A.; JULIARENA, M.P.; FERNÁNDEZ, M.E. 2022b. Contribución de la forestación en pastizales pampeanos en el marco del Cambio Climático. 1- Secuestro de C. 45° Congreso Argentino de Producción Animal, 16 al 18 de noviembre, virtual, *Revista de Producción Animal* 42 sup. 1: 347.
- GYENGE, J.; LUPI, A.; FERRERE, P.; et al. 2019. Stand density management diagrams of *Eucalyptus viminalis*: predicting stem volume, biomass and canopy cover for different production purposes. *CERNE* 25: 463-472.
- LIBERT-AMICO, A.; DUCHELLE, A.E.; COBB, A.; PECCOUD, V.; DJOUDI, H. 2024. Adaptación basada en los bosques: adaptación transformadora a través de los bosques y los árboles. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2886es>.
- MASTERS, D.G.; BLACHE, D.; LOCKWOOD, A.M.; MALONEY, S.K.; NORMAN, H.C.; REFSHAUGE, G.; HANCOCK, S.N. 2023. Shelter and shade for grazing sheep: implications for animal welfare and production and for landscape health. *Animal Production Series* 63: 623-644. Doi: 10.1071/ANS22225.
- MILIONE, G.M.; MUJICA, C.R.; DAGUER, D.D.; BEA, S.A.; et al. 2020. Influence of soil texture, climate and vegetation cover on secondary soil salinization in Pampas plains, South America. *CERNE* 26: 212-221.
- ROLLA A.L., NÚÑEZ M.N., RAMAYÓN J.J., RAMAYÓN M.E. 2019. Impacts of climate change on bovine livestock production in Argentina. *Climatic Change* 153: 439-455.
- SAYDS. 2015. 3° Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://unfccc.int/documents/67499>
- SUDMEYER, R.A.; SPEIJERS, J. 2007. Influence of windbreak orientation, shade and rainfall interception on wheat and lupin growth in the absence of below-ground competition. *Agroforestry Systems* 71: 201-214.
- WYNGAARD, N., CRESPO, C., ANGELINI, H., EYHERABIDE, M., LARREA, G., REUSSI CALVO, N., CARCIOCHI, W., SAINZ ROZAS, H. 2022. The effect of agriculture on topsoil carbon stocks is controlled by land use, climate, and soil properties in the Argentinean Pampas. *Catena* 212: 106126.



CAMBIO CLIMÁTICO EN CONCORDIA. UNA MUESTRA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA REGIÓN

Sergio RAMOS¹, Rubén GARIN¹

RESUMEN

El cambio climático es una realidad en nuestra región y para confirmarlo se utilizaron un conjunto de 27 índices de extremos climáticos (ETCCDMI) aplicados a la serie de registros diarios de temperatura y precipitación del observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia (1967 a 2023). Se determinaron los índices anual y mensualmente y su tendencia. En promedio la temperatura máxima media, la temperatura máxima extrema y la amplitud térmica aumentaron en 0,02 °C ($p < 0,001$), 0,036 °C ($p < 0,01$) y 0,013 °C ($p < 0,01$) por año respectivamente. Mientras que los días de verano (su30 y 25), los días calurosos, las noches tropicales y las olas de calor aumentaron en ~5/10 ($p < 0,001$), ~4/10 ($p < 0,01$), >1/10 ($p < 0,01$), >1/10 ($p < 0,1$), ~1/10 ($p < 0,1$) respectivamente. El único índice que disminuyó fue el de noches frescas ~1/10 ($p < 0,01$). La lluvia anual acumulada y la intensidad aumentaron en promedio 4,9 mm ($p < 0,1$) y 0,054 mm.día⁻¹ ($p < 0,01$) por año respectivamente. Además, aumentaron significativamente los días muy húmedos y los días con lluvias mayores a 20 mm en >2/10 ($p < 0,1$) y 1/10 ($p < 0,1$) respectivamente. Los cambios detectados en las condiciones medias de temperatura y precipitaciones no se revertirán en el corto plazo y afectan particularmente a las actividades agropecuarias lo que exige medidas de adaptación a las nuevas condiciones.

Palabras clave: *temperaturas, sequías, heladas, inundaciones*

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) se define como una variación del estado del clima (valores medios y/o variabilidad) que persiste durante un período prolongado, independientemente de sus causas (IPCC, 2013). La Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la convención marco de Naciones Unidas sobre cambio climático (2015) reportó un aumento de hasta 1 °C y 200 mm de precipitación en algunas regiones del país para el decalustro 1960-2010.

Un esfuerzo internacional que reúne un equipo de expertos “Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices” (ETCCDMI) desarrolló un conjunto de 27 índices climáticos útiles para la detección y el monitoreo de cambios en los registros extremos del clima (Zhang & Yang, 2004).

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el cambio climático en Concordia a través del análisis temporal de la temperatura y precipitación e índices derivados utilizando registros meteorológicos locales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la base de datos de temperatura y precipitación diarias del observatorio agrometeorológico de la EEA INTA Concordia desde 1969 a 2023. Se calcularon los 27 índices de extremos climáticos (ETCCDMI). Algunos se basan en umbrales fijos y son los mismos para todas las estaciones, otros índices se basan en umbrales que varían de un lugar a otro ya que se definen como un percentil de la serie de datos. Para el cómputo se utilizó el programa ClimDex desarrollado en R (Zhang & Yang, 2004), que calcula los índices anuales y, en algunos casos mensualmente, y determina la significancia de su tendencia.

Se realizaron análisis complementarios entre los grados-día y las heladas; la distribución estacional de los milímetros y los días de lluvia; la duración e intensidad de las sequías mediante el índice estandarizado de precipitación de tres meses (SPI-3) y su relación con la temperatura.

¹ Estación Experimental Agropecuaria INTA Concordia. Ruta prov. 22 y FFCC 3200, Concordia, Entre Ríos. E-mail: ramos.sergio@inta.gob.ar



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados mostraron una tendencia creciente significativa para la temperatura, motivado principalmente por las temperaturas máximas. En cuanto a las precipitaciones, si bien hubo una tendencia creciente la confianza estadística es baja (Cuadro 1)

En promedio la temperatura máxima media, la temperatura máxima extrema y la amplitud térmica aumentaron en 0,02, 0,036 y 0,013 °C por año respectivamente. Mientras que los días de verano (su30 y 25), los días calurosos, las noches tropicales y las olas de calor aumentaron en ~5/10, ~4/10, >1/10, >1/10, ~1/10 respectivamente. El único índice que disminuyó fue el de noches frescas en ~1/10.

Por el lado de las lluvias el acumulado anual y la intensidad aumentaron en promedio 4,9 mm y 0,054 mm.día⁻¹ por año respectivamente, aunque con un nivel de confianza bajo. Además, aumentaron significativamente los días muy húmedos y los días con lluvias mayores a 20 mm en >2/10 y 1/10 respectivamente.

Cuadro 1. Índices de extremos climáticos. Valores de pendiente, desvío estándar (DS) y valor *p* del estadístico Mann-Kendall. Serie histórica del observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

	Índices	Unidades	Pendiente	DS	Valor <i>p</i>	
TMAXmean	Temperatura máxima media anual	°C	0,02	0,004	0,000	***
su30	Días de verano (T° max diaria > 30°C)	n° días	0,47	0,102	0,000	***
tx90p	Días calurosos (T° max diaria > percentil 90)	n° días	0,136	0,028	0,000	***
su25	Días de verano (T° max diaria > 25°C)	n° días	0,373	0,119	0,003	**
txx	Temperatura máxima extrema anual	°C	0,036	0,012	0,003	**
tx10p	Días frescos (T° max diaria < percentil 10)	n° días	-0,07	0,023	0,004	**
dtr	Amplitud térmica media mensual	°C	0,013	0,005	0,01	**
wsvdi	Olas de calor (días consecutivos ≥ 6 días con T° max diaria > percentil 90)	n° días	0,075	0,04	0,065	.
tr20	Noches tropicales (T° min diaria > 20°C)	n° días	0,146	0,078	0,068	.
tn90p	Noches cálidas (T° min diaria > percentil 90)	n° días	0,049	0,03	0,113	
TMINmean	Temperatura mínima media anual	°C	0,007	0,005	0,133	
tn10p	Noches frías (T° min diaria < percentil 10)	n° días	-0,034	0,024	0,156	
tnn	Temperatura mínima extrema	°C	-0,012	0,011	0,29	
csdi	Duración de los períodos fríos (días consecutivos T° max diaria < percentil 10)	n° días	-0,018	0,018	0,335	
tnx	Temperatura mínima más alta	°C	0,01	0,012	0,419	
txn	Temperatura máxima más baja	°C	0,007	0,013	0,569	
fd0	Días con helada (T° min diaria < 0°C)	n° días	0,018	0,038	0,65	
gsl	Estación de crecimiento	n° días	-0,001	0,004	0,804	
sdi	Índice simple de intensidad diaria (cociente entre precipitaciones acumuladas y número de días con lluvia)	mm. día⁻¹	0,054	0,02	0,008	**
r95p	Días muy húmedos (días con ppt > percentil 95)	n° días	2,696	1,403	0,06	.
r20mm	Días con lluvia mayor a 20 mm	n° días	0,1	0,053	0,064	.
prcptot	Precipitación total anual	mm	4,952	2,723	0,075	.
r10mm	Días con lluvia mayor a 10 mm	n° días	0,104	0,067	0,13	
cdd	Días secos consecutivos (días consecutivos sin ppt < 1mm)	n° días	-0,054	0,05	0,292	
rx5day	Precipitación máxima en 5 día	mm	0,453	0,563	0,425	
rx1day	Precipitación máxima en 1 día	mm	0,177	0,286	0,54	
r99p	Días extremadamente húmedos (días con ppt > percentil 99)	n° días	0,429	0,799	0,593	
cwd	Días húmedos consecutivos (días consecutivos con ppt > 1mm)	n° días	0,008	0,018	0,656	
R100mm	Días con lluvia mayor a 100 mm	n° días	0,002	0,006	0,788	

Significancia: *** <0,001; ** <0,01; * <0,05; , <0,1



El aumento generalizado de la temperatura acelera los procesos fisiológicos que son la base del crecimiento y desarrollo de las plantas, sin embargo, al mismo tiempo que aumentan las tasas de crecimiento de los vegetales también se ven favorecidas la multiplicación de insectos plaga y el rango de su distribución espaciotemporal al correrse los umbrales.

Una consecuencia no deseada del incremento térmico es la prolongación de la fase de crecimiento dentro del período de heladas, aumentando de esta manera el peligro de daño sobre los tejidos vegetales. Se observó un aumento de las sumas térmicas (grados-día base 10¹) dos semanas antes de una helada extrema < -3°C (Gráfico 1)

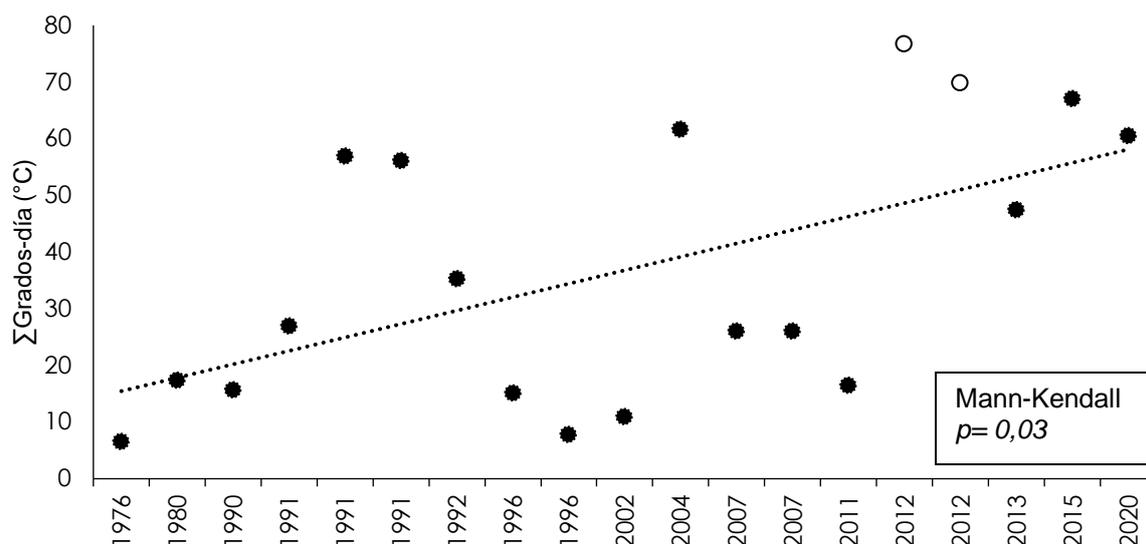


Gráfico 1. Suma de grados-día dos semanas previo a una helada extrema ($\leq -3,5$ °C). Heladas invernales (●), excepto las del año 2012 que fueron a fines de otoño (○). Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

Estas tendencias fueron anticipadas por Garran y Marcó a mediados de los 2000 (Garran & Marcó, 2007). Los autores observaron un incremento de las temperaturas medias, máximas y mínimas en todos los meses, excepto mayo y julio, como también de las lluvias acumuladas mensuales, excepto el trimestre junio-julio-agosto, durante el período 1967-2006. Además, resaltaron las posibles alteraciones en el ciclo fenológico de citrus, eucaliptos y arándanos y el mayor riesgo de daños por heladas ante el comienzo anticipado de la brotación/floración y la falta de rustificación durante el período invernal

Además del incremento del acumulado anual se observó un cambio en la distribución de las precipitaciones. En primavera tanto los milímetros de agua caída como los días de lluvia se mantuvieron sin variación. En el invierno se registró una disminución casi proporcional de los milímetros y días de lluvia. En otoño se mantuvo la cantidad de milímetros distribuidos en una mayor cantidad de días. En el verano los valores de ambas variables aumentaron, aunque los milímetros aumentaron en mayor proporción que los días lluviosos, lo que explica la intensidad creciente (índice sdi) (Gráfico 2)

¹ Es una medida de la acumulación de calor calculado a partir de la temperatura media diaria menos un umbral por debajo del cual no hay crecimiento vegetativo (método residual). Para muchas especies incluido el eucalipto se considera un umbral de 10°C. Ver Ramos & Garin, XIX RADA 2022 (<https://bit.ly/47ctFhx>)

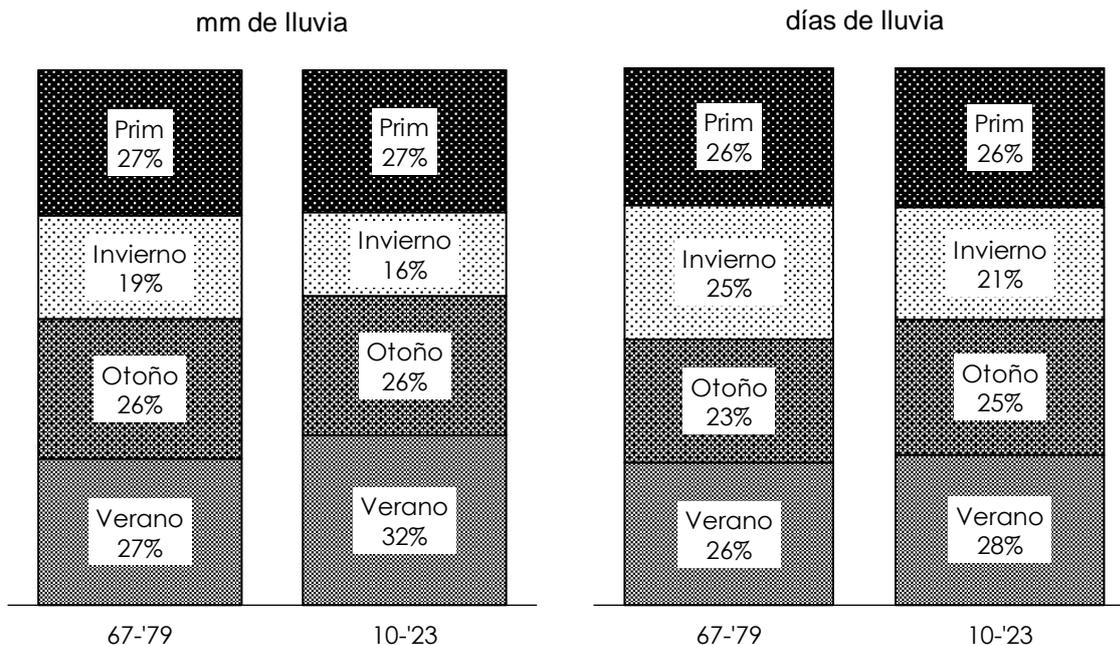


Gráfico 2. Distribución estacional de los milímetros y de los días con lluvia en las décadas de 1970 (primera y tercera columna) y de 2010 (segunda y cuarta columna). Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

Si bien hubo un aumento de las lluvias (en días y mm), debido a su variabilidad interanual, la proporción de días sin lluvias (75 % promedio anual) y el aumento de la intensidad, las sequías son y continuarán siendo una adversidad climática. A lo largo de la serie histórica no se observó una tendencia clara en la cantidad, duración e intensidad de las sequías (Gráfico 3).

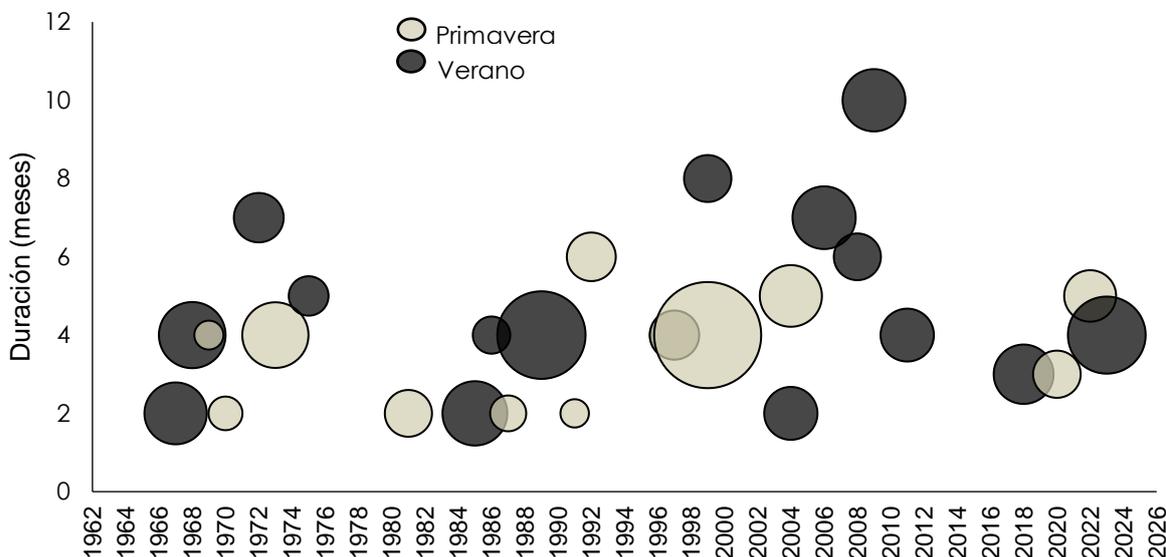


Gráfico 3. Duración de las sequías primaverales y estivales según el índice estandarizado de precipitación de tres meses (abs SPI-3). El tamaño de los círculos indica la intensidad de la sequía. Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

Desde el punto de vista de las plantas y su crecimiento, las sequías estivales son las más perjudiciales. En este sentido se observó un aumento promedio de 2 °C en la temperatura media durante las sequías estivales desde la década del '70, lo que las convierte en cada vez más peligrosas por el aumento de la evapotranspiración y el riesgo de incendios (Gráfico 4).

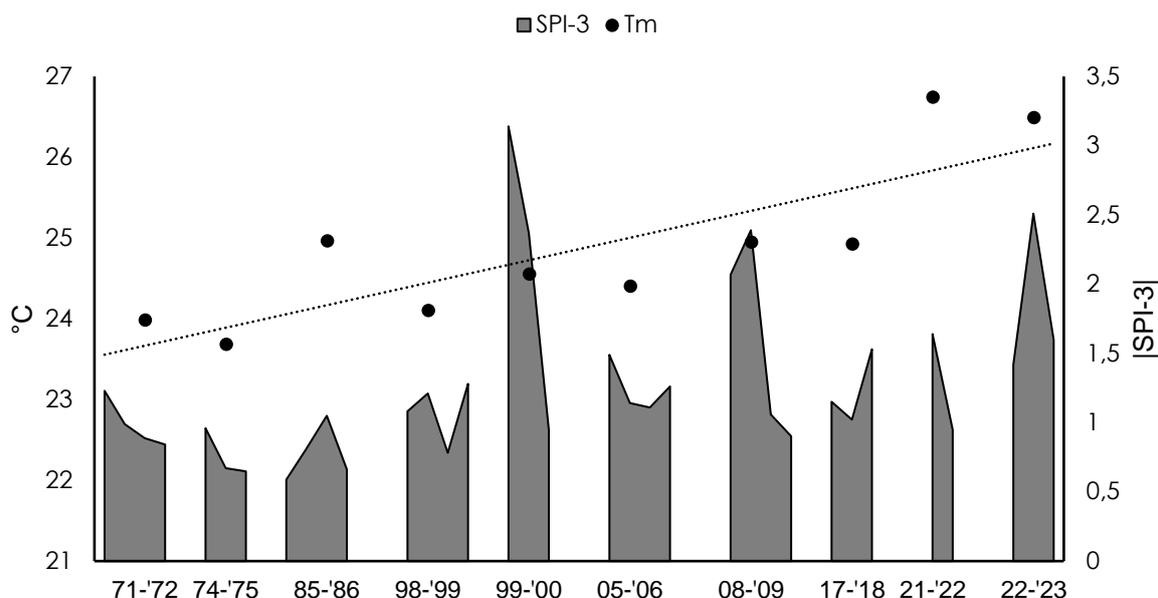


Gráfico 4. Sequías estivales. Valores absolutos del índice estandarizado de precipitación de tres meses (SPI-3) durante los meses de verano (solo los meses con SPI-3 < a - 0.5) y temperaturas medias (Tm). Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023

4. CONCLUSIONES

El análisis de la serie histórica 1967-2023 del Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia determinó una dinámica significativamente creciente de la temperatura, lo que se tradujo en un aumento de los días y noches calurosas, así como de la duración de las olas de calor. Al mismo tiempo decreció significativamente el número de días frescos.

En cuanto a las precipitaciones, se observó un aumento del acumulado anual explicado por un aumento en el número de días lluviosos y la intensidad, especialmente durante el verano en detrimento del invierno.

Eventos extremos como sequía y heladas en un contexto de temperaturas crecientes expondría a los vegetales a un mayor nivel de daño.

La irreversibilidad de estos cambios a corto y mediano plazo impone nuevos desafíos a las actividades humanas en general y a las agropecuarias en particular

5. REFERENCIAS

- GARRAN, S.; MARCÓ, M. 2007. El clima de la región de Concordia y sus heladas. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia 25 y 26 de Octubre de 2007.
- IPCC 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: Climate Change 2013: The physical science basis, Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K, Plattner, M., Tignor, S.K. Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V., Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN. 2015. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la convención marco de Naciones Unidas sobre cambio climático. En: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/3com.-resumen-ejecutivo-de-la-tercera-comunicacion-nacional.pdf>
- ZHANG, X.; YANG, F. 2004. RClimdex (1,0) User Manual, Climate Research Branch, Environment Canada, 23 pp.



ESTIMACIÓN DEL COSTO DE ABATIMIENTO DE CAPTURA DE CARBONO A PARTIR DEL MANEJO SILVÍCOLA INTENSIVO EN BOSQUE NATIVO DEGRADADO DEL CENTRO DE ARGENTINA

Marco UTELLO¹, Diego TELLO², Juan TARICO¹, José PLEVICH¹

RESUMEN

En la actualidad, el cambio climático constituye una de las principales problemáticas a nivel mundial y los bosques cumplen un rol determinante en la mitigación por su aporte como sumidero de carbono. En la región central de Argentina se encuentra una importante formación boscosa denominada “Caldenal”, y la ocurrencia de incendios es uno de los principales factores de degradación que afecta su estructura y diversidad. El objetivo de este trabajo fue estimar el costo económico de la reducción de emisiones basado en el costo marginal de abatimiento de cuatro tecnologías de intervenciones silvícolas desarrolladas experimentalmente en la región aplicadas a bosque nativo degradado. Se hallaron costos entre 29 ± 3 y 105 ± 3 USD por Mg CO₂eq, siendo la alternativa “Rolado + Raleo manual” la de menor costo de abatimiento. La aplicación de curvas de abatimiento proporciona información útil para la implementación de estrategias de política pública orientada a la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: *cambio climático, secuestro de carbono, precios de carbono.*

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cambio climático constituye y es percibido como una de las principales problemáticas socio ambientales a nivel mundial. Este fenómeno antropogénico es provocado por el exceso de emisiones de gases de efecto invernadero generando un aumento en la temperatura media mundial (IPCC, 2021). Por su parte, los bosques cumplen un rol determinante en la mitigación del cambio climático de fuente antropogénica. La mitigación del cambio climático basada en los bosques puede desarrollarse mediante la conservación y mejora del bosque como sumidero de carbono y mediante la reducción de las emisiones GEI, evitando la deforestación. Suponiendo la implementación completa del Acuerdo de París en cuanto a bosques, podrían cambiar globalmente de ser una fuente antropogénica neta durante 1990-2010 ($1,3 \pm 1,1$ Gt CO₂eq año⁻¹) a un sumidero neto de carbono para 2030 (hasta $-1,1 \pm 0,5$ Gt CO₂eq año⁻¹) y proporcionar una cuarta parte de las reducciones de emisiones planificadas por los países (Grassi et al., 2017).

Las curvas de costo de abatimiento de gases de efecto invernadero proporcionan una base cuantitativa esencial para discutir cuáles acciones serían más efectivas para reducir las emisiones y cuál sería su costo. El costo de abatimiento se define como los costos adicionales (o beneficios percibidos) de reemplazar una tecnología de referencia (desarrollo común de negocios) por una alternativa de bajas emisiones (Naucmér y Enkvist, 2009). Para el sector forestal a nivel mundial, se estima que convertir los bosques en sumideros netos de carbono para 2030 tiene un costo de abatimiento promedio de 42 USD por Mg CO₂eq (Naucmér y Enkvist, 2009).

En la región central de Argentina se encuentra una importante formación boscosa denominada “Caldenal”. La superficie forestal actual, según el último inventario forestal nacional (MAyDS 2020), es de 3.068.089 ha. Esta formación forestal de tipo sabana se caracteriza por una amplia gama de fisonomías, lo que se refleja principalmente en la variación de la cobertura y densidad arbórea. Su estructura y funcionalidad se está viendo afectada por la invasión de leñosas, principalmente arbustos y renuevos, un fenómeno frecuente en sistemas áridos y semiáridos (Estelrich y Suárez, 2020) que,

¹ Dasonomía. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. mutello@ayv.unrc.edu.ar

² Docente e investigador FCE UNRC-CONICET dtello@fce.unrc.edu.ar



sobre todo, afecta el hábitat como pastizales. Dicha situación condujo a que 1,3 millones de hectáreas se encuentren en estado de alta regeneración con individuos pequeños de nulo valor forestal y con alta probabilidad de incendios (MAyDS, 2020).

Estas áreas, cubiertas por sistemas muy lignificados, no solo son improductivas desde el punto de vista forestal y silvopastoril, sino que contribuyen a un potencial peligro frente a incendios por el gran contenido de combustible de alto poder calórico. En este sentido, las intervenciones silvícolas son una herramienta de manejo de la biomasa forestal que permite bajar la carga de combustible y posibilita incrementar el crecimiento diametral y de copa de los individuos remanentes con el objetivo de convertir los renovales en árboles maduros (Estelrich y Suárez, 2020).

Al presente se encuentra escasa información en cuanto a las curvas de costo de abatimiento de CO₂e_q en ecosistemas forestales de la región y nula información para los bosques de *Neltuma caldenia* Burkart. Por consiguiente, el objetivo del trabajo fue estimar el costo de la reducción de emisiones basado en el costo marginal de abatimiento de cuatro tecnologías de intervenciones silvícolas desarrolladas experimentalmente en la región y aplicadas a bosque nativo degradado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de trabajo consistió en la proyección del crecimiento a partir de la estructura diamétrica de un bosque tipo de caldén en alta regeneración (fachinal). Según la metodología del Inventario Nacional Forestal (MAyDS, 2020) la estructura "fachinal" corresponde a un patrón de regeneración post-incendio con un DAP menor a 10 cm. Las ecuaciones empleadas en esta simulación fueron retomadas de ajustes previos (Bogino y Villalba 2008; Utello et al., 2019; Utello et al., 2023) en bosques localizados al suroeste de la provincia de Córdoba a 30 km al oeste de la localidad de Villa Huidobro. Los costos de las alternativas de intervenciones silvícolas fueron obtenidos del trabajo de Estelrich y Suárez (2020) calculados a partir de pruebas en campos experimentales.

La modelación del crecimiento forestal se realizó a través de un modelo de clases diamétricas (Silva, 1989), donde la fracción de árboles que se mueve anualmente a lo largo de todo el intervalo de clases debido al crecimiento diametral puede ser estimada por un índice de crecimiento (IC), Ecuación 1:

$$IC = Ic * P/a \quad [1]$$

Donde *IC*: Índice de crecimiento; *Ic*: Incremento corriente en diámetro de la clase; *P*: Número de años del período considerado; *a*: Amplitud de la clase de diámetro.

Para el cálculo del IC se emplearon los datos obtenidos en el trabajo de Bogino y Villalba (2008), donde se establecen el crecimiento radial y tiempos de rotación de *N. caldenia* en el centro de la Argentina. Para este trabajo se tomaron los datos del sitio de estudio "El Liebral" que se encuentra a unos 60 km de distancia de las parcelas de muestreo, dentro del área de estudio. Otro punto importante para el modelado fue el ingreso o reclutamiento que se introducirían a la primera clase diamétrica. Para tal fin se recurrió a la Ecuación 2 que predice el patrón de regeneración de *N. caldenia* bajo distintas densidades arbóreas (Utello et al., 2023):

$$n = 2206,46 * \exp^{-1,09*AB} + 630,81 * \exp^{-0,1*AB} \quad [2]$$

Donde *n*: individuos en regeneración por ha; *AB*: área basal (m² ha⁻¹).

Conociendo las existencias medias anuales en número de individuos por clase diamétrica a partir de la Ecuación 2 y el IC es posible calcular el número de años necesarios para que todos los pies de una clase pasen a la siguiente y proyectar la distribución diamétrica. Para la estimación de biomasa y su distribución por clase se aplicó la función alométrica desarrollada por Risio et al. (2013) [Ecuación 3]:

$$W = (\beta * AB^2) + \lambda * h \quad [3]$$

Donde *W*: peso de biomasa seca (kg) de las distintas fracciones del árbol; *AB*: área basal (cm² ha⁻¹); *h*: altura del árbol (m); β y λ , parámetros estimados del modelo (β : 0,000366 y λ : 7,558194).

La altura se estimó mediante la Ecuación 4 ajustada para la región de estudio (Utello et al., 2019):



$$h = \frac{10,94}{1+1,73 \times e^{-3,69 \times DAP}} \quad [4]$$

Donde h: altura total del árbol (m); DAP: diámetro a la altura de pecho (m).

Las alternativas de intervención silvícolas simuladas fueron: 1) Rolado (Kunst et al., 2008) + Raleo Manual (Estelrich y Suárez, 2020); 2) Triturado + Raleo Manual (Estelrich y Suárez, 2020); 3) Topadora (Kunst et al., 2008) + Raleo Manual (Estelrich y Suárez, 2020); y 4) Tendencial (sin manejo). El número de intervenciones fue definido por el tiempo de tránsito por la clase diamétrica, que a su vez está determinada por el IC (Ecuación 1). Cuando los individuos alcanzaban la clase diamétrica superior se simularon raleos con una intensidad del 50 % para reducir el número de pies y sostener el supuesto de maximizar el crecimiento de los árboles remanentes.

Para la situación tendencial se consideró el intervalo medio entre fuegos, que es el número promedio de años entre fechas de fuego en una cronología compuesta y ha sido ampliamente usado para describir frecuencias de fuego. Para el área de estudio, desde el primer fuego registrado en 1795 hasta el último en 1989, fue de 3,96 años (con intervalos mínimo y máximo entre fuegos de 1 y 17 años respectivamente) (Medina, 2007). Por consiguiente, el supuesto fue que a los 17 años se produciría un incendio de alta intensidad que reiniciaría el repoblado por rebrotes multicaules. En las situaciones con manejo, el supuesto fue que la ocurrencia de incendios no consume el vuelo forestal, ya que las intervenciones silvícolas generan una discontinuidad horizontal evitando la propagación del fuego de copas. Este supuesto surge de las experiencias en el uso del fuego mediante quemas prescriptas en bosques manejados con ganadería integrada en la provincia de La Pampa (Estelrich y Suárez, 2020).

Los coeficientes técnicos fueron obtenidos de intervenciones experimentales a campo en la provincia de La Pampa valorados en litros de gasoil por hectárea (Estelrich y Suárez, 2020) que permite actualizar los costos a valor presente. Para el cálculo de la Determinación del costo marginal de abatimiento (CMA) se utilizó la Ecuación 5 (Nauchler y Enkvist, 2009):

$$CMA = \frac{VAC_{opción} - VAC_{BAU}}{Emisiones_{opción} - Emisiones_{BAU}} * \$USD \text{ Mg } CO_2eq \quad [5]$$

Donde $VAC_{opción}$ = Valor actual de costo de la opción que considera algún tipo de intervención; VAC_{BAU} = Valor actual de costo de la opción sin intervención (*BAU: Business as usual*).

2. RESULTADOS

Los resultados de la simulación muestran que el potencial de secuestro de C (Figura 1) en cada alternativa de manejo, descontando el valor tendencial, fue de 19,6 y 19,8 Mg C ha⁻¹ durante el periodo simulado, lo que significa una tasa de captura de 0,39 y 0,4 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para Rolado/Triturado + Raleo Manual y Topadora + Raleo Manual, respectivamente, lo que significaría en multiplicar por tres el actual stock de carbono en estos ecosistemas.

Al incorporar los costos de cada tratamiento a los valores de captura estimados, se encontró que la intervención "Rolado + Raleo manual" tiene un costo de abatimiento de 29 ± 3 USD por Mg CO₂eq; la intervención "Trituradora (clareo) + Raleo Manual" tiene un costo de 51 ± 3 USD por Mg CO₂eq; y la intervención "Topadora (clareo) + Raleo Manual" tiene un costo de 105 ± 3 USD por Mg CO₂eq. En este sentido, "Rolado + Raleo manual" constituye la alternativa más costo-efectiva. Considerando toda la extensión de los bosques, esta mejora tiene un potencial de captura de 25,61 Tg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹ y de 0,51 Tg CO₂eq año⁻¹, aunque requeriría una inversión de 38,7 millones de USD.

Cuadro 1. Resumen de los valores proyectados a 50 años de biomasa y carbono (C) para las alternativas consideradas y la situación tendencial.

Alternativas	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	C (Mg ha ⁻¹)	Incremento (Mg ha ⁻¹)	Tasa anual (Mg ha ⁻¹)
Rolado/Triturado + Raleo Manual	61,40	29,47	19,60	0,39
Topadora+ Raleo Manual	61,82	29,67	19,80	0,40
Tendencial	20,57	9,87	0	0

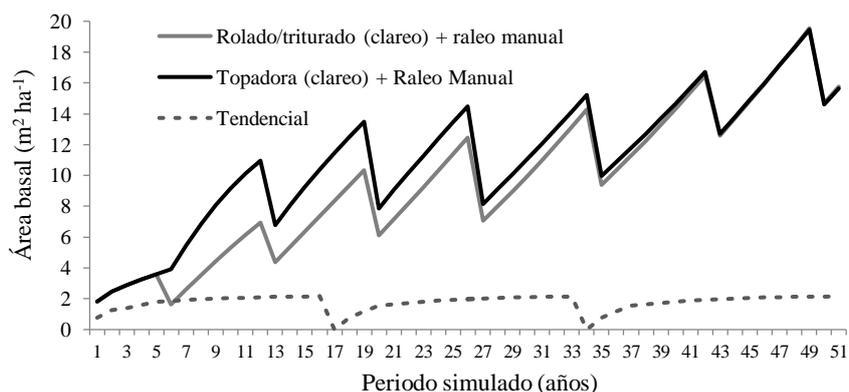


Figura 1. Evolución del área basal durante el periodo simulado para las distintas condiciones de manejo silvícolas y la situación tendencial sin manejo.

3. DISCUSION

Los valores de biomasa leñosa aérea en las situaciones de manejo proyectadas (Cuadro 1) se encuentran dentro del rango de 52,13 y 111,82 Mg MS (Materia Seca) ha⁻¹ reportados por Ledesma et al. (2021) en bosques de *Neltuma affinis* en el extremo norte de la región de estudio. Para Argentina, dada su amplia variabilidad ecológica, se han estimado valores de biomasa aérea de las tierras forestales de las distintas ecorregiones que van desde 98,80 Mg MS ha⁻¹ en el Parque Chaqueño (UMSEF, 2007), pasando por 172,87 y 266,24 Mg MS ha⁻¹ para la Selva Tucumano-Boliviana y la Selva Misionera respectivamente (SAyDS, 2007).

En el presente estudio, se estimó un incremento del 299 % en el almacenamiento promedio de carbono pasando de 9,87 a 29,57 Mg C ha⁻¹ de la situación tendencial a la manejada, respectivamente. Las estimaciones que integran el Informe PNUD (2017) determinaron stock de C de 59,2 Mg ha⁻¹ en el Parque Chaqueño. Por su parte, las estimaciones realizadas por Bonino (2006) determinaron valores de 30,31 Mg C ha⁻¹ en los bosques primarios de esa región. En un rango similar se encuentran los reportes para los bosques del Chaco Seco (Conti et al., 2014). Estos autores calcularon un stock de 22,13 Mg C ha⁻¹ en el estrato arbóreo de bosques primarios y de 18,75 Mg C ha⁻¹ en bosques secundarios de la región árida de la Provincia de Córdoba.

En Argentina son escasos los estudios que abordan la cuantificación de la tasa anual de captura de C por parte de una comunidad arbórea nativa. En esta experiencia se alcanzó un secuestro máximo simulado de 0,4 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en la biomasa arbórea total en la condición de 20 m² ha⁻¹ de AB. En el área de bosques xerófilos de la Provincia Chaqueña se ha utilizado un valor de captura de 0,5 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ (Conti et al., 2014). En bosques de *N. affinis* de estructura similar a los caldenales, Ledesma et al. (2021) hallaron tasas anuales de captura de entre 0,53 y 0,95 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, con un promedio de 0,75 ± 0,17 Mg C ha⁻¹ año⁻¹.

Considerando la alternativa "Rolado + Raleo manual", encontramos que su costo es menor que el promedio mundial actual de 42 USD por Mg CO₂eq para el sector forestal. Adicionalmente, es comparable a los reportados por otros investigadores en bosques nativos con manejos similares. Un trabajo destacado en este ámbito es el de Assmuth et al. (2021), quienes realizaron un estudio económico del almacenamiento óptimo de carbono en bosques nativos noruegos estructurados por edades desiguales y de especies mixtas (abeto, abedul y otras especies de árboles de hoja ancha sin valor comercial) utilizando una silvicultura de cobertura continua. Los resultados de su estudio muestran que los costos marginales de almacenamiento de carbono oscilan entre 3 y 40 USD por t CO₂eq, similares a los 29 USD por Mg CO₂eq encontrados en nuestro trabajo. Estos hallazgos son coherentes con los resultados de nuestro estudio, reforzando la comparabilidad y relevancia de las prácticas de manejo intensivo en la mitigación del cambio climático. Además, proyectaron que los precios del carbono para 2035 y 2055 se incrementarían entre 7 y 184 USD y entre 8 y 333 USD por t CO₂eq, respectivamente.



4. CONCLUSIONES

Los resultados de esta simulación subrayan la importancia de invertir en la recuperación de bosques degradados como una estrategia efectiva para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Adicionalmente se encontró que los costos de abatimiento en la recuperación de bosques degradados de *N. caldenia* son comparables a los proyectados en bosques nativos con manejos similares por lo que esta estrategia de manejo constituye una opción viable y necesaria para la mitigación del cambio climático.

Finalmente, se considera que la aplicación de curvas de abatimiento proporciona información útil para la implementación de estrategias de política pública orientada a la mitigación del cambio climático. Este estudio proporciona un punto de partida y es necesario profundizar en ensayos de mediano a largo plazo sobre el terreno.

5. REFERENCIAS

- ASSMUTH, A., RĂMÖ, J., TAHVONEN, O. 2021. Almacenamiento óptimo de carbono en bosques estructurados por tamaño de especies mixtas. *Environ Resource Econ* 79, 249–275 <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00559-9>
- BOGINO, S., VILLALBA, R. 2008. Radial growth and biological rotation age of *Prosopis caldenia* Burkart in Central Argentina. *Journal of Arid Environments* 72:16-23.
- BONINO, E.E. 2006. Changes in carbon pools associated with a land-use gradient in the dry Chaco, Argentina. *For. Ecol. Manage.* 223, 183-189.
- CONTI, G., PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., QUÈTIER, F., GORNÉ, L.D., JAUREGUIBERRY, P. 2014. Large changes in carbon storage under different land-use regimes in subtropical seasonally dry forests of southern South America. *Agriculture, ecosystems & environment* 197, 68-7
- ESTELRICH, H.D., SUÁREZ, C.E. 2020. EL bosque de Caldén: un abordaje multidisciplinario para su manejo y conservación. Ed. Santa Rosa: Editorial Universidad Nacional de La Pampa. 280 p.
- GRASSI, G., HOUSE, J., DENTENER, F. et al. 2017. El papel clave de los bosques en el cumplimiento de los objetivos climáticos requiere de ciencia para una mitigación creíble. *Cambio climático de la naturaleza* 7, 220–226.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2021) Contribución del Grupo de Trabajo. Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 40p.
- KUNST, C., LEDESMA, R., NAVALL, M. 2008. RBI. Rolado Selectivo De Baja Intensidad. Ediciones INTA.
- MAYDS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación) (2020) Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Espinal y Delta e Islas del río Paraná: primera revisión. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. 144p.
- MEDINA, A.A. 2007. Reconstrucción de los regímenes de fuego en un bosque de *Prosopis caldenia*, provincia de La Pampa, Argentina *BOSQUE* 28(3): 234-240
- NAUCLÉR, T., Y ENKVIST, P. A. 2009. Pathways to a Low-Carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. McKinsey & Company.
- PNUD Argentina. Los Bosques Nativos de Argentina en el marco del proceso de Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación.
- RISIO, L., HERRERO, C., BOGINO, S.M., BRAVO, F. 2013. Estimación de biomasa aérea y subterránea en bosques nativos de *Prosopis caldenia* en la pampa semiárida Argentina. VI Congreso Forestal Español.
- SAYDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina), 2007. Primer inventario nacional de bosques nativos: informe regional espinal, segunda parte. 1ª ed Buenos Aires. 154p.
- SILVA, J. N. M. 1989. "The behaviour of the tropical rain forest of the brasilian amazon after logging". Green College, Oxford, Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford. (Tesis Ph. D.) 119 p.
- UMSEF (Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal). Monitoreo de la superficie de bosque nativo de Argentina. Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/bosques/umsef>
- UTELLO M.J., PLEVICH J.O., TARICO J.C. 2023. Patrón de regeneración de renovales de *Neltuma caldenia* en el centro de Argentina: cambios de acuerdo a la cobertura arbórea y la intensidad lumínica en el sotobosque. XIX Jornadas Técnicas, Forestales y Ambientales. Iguazú, Misiones, Argentina.



ANÁLISIS ESPACIAL DE LA ABUNDANCIA DE *Lactarius deliciosus* MEDIANTE ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y HUMEDAD: UN ENFOQUE MICOLÓGICO BASADO EN LA TELEDETECCIÓN Y MUESTREO DE PARCELAS

Carolina Magalí ERRUVIDARTE¹; Santiago Andrés MARTÍNEZ²

RESUMEN

Este estudio se realizó en un pinar experimental en Eldorado, Misiones, Argentina, para investigar cómo las condiciones edafoclimáticas, monitoreadas mediante teledetección, afectan la presencia del hongo comestible *L. deliciosus*. Este hongo, que crece en suelos con hojarasca y acículas de *Pinus sp.*, es común en otoño y se encuentra en diversas provincias argentinas. Se seleccionaron 10 parcelas de 1 m² en el pinar, donde se registró la abundancia de hongos entre marzo y agosto de 2022 y 2023. Para el análisis, se utilizaron imágenes satelitales de Sentinel-2 L2A, y se calcularon los índices NDVI y NDMI para evaluar la vegetación y la humedad del suelo, respectivamente. El análisis de correlación y regresión realizado con planillas de cálculo mostró una relación débil entre los valores de NDVI y NDMI con la abundancia de *L. deliciosus*, sugiriendo que factores como la calidad del suelo podrían ser más determinantes. Para asegurar la validez, se implementaron controles de calidad en la recolección de datos y la precisión de las imágenes. Estos resultados indican la necesidad de considerar una mayor variedad de factores y usar técnicas de teledetección más avanzadas para comprender mejor la distribución de este hongo.

Palabras claves: *Sensores remotos; NDMI; NDVI; Misiones; Hongos comestibles*

1. INTRODUCCIÓN

En los bosques de coníferas, la teledetección permite monitorear la salud y el vigor de la vegetación, así como la humedad del suelo y los factores críticos para la gestión sostenible de estos ecosistemas. Estos bosques son el hábitat de especies micorrízicas como *Lactarius deliciosus*, una especie comestible. En Argentina, esta especie es conocida en provincias como Entre Ríos, Buenos Aires, Tucumán, Corrientes y Misiones (Singer, 1956; Niveiro et al., 2009). Esta crece únicamente en suelos con hojarasca y acículas de *Pinus sp.*, formando asociaciones ectomicorrízicas. Es frecuente encontrar esta especie en otoño, a menudo formando anillos de brujas (Niveiro et al., 2009).

La simbiosis entre hongos y especies forestales ofrece oportunidades para investigaciones innovadoras (Chung Guin-Po, 2022). Laiho (1970), en su trabajo concluyó que los factores climáticos tienen menos impacto en la producción de cuerpos fructíferos que los factores edáficos. Mientras que, otros estudios sobre diferentes especies de macromicetos, indican que la fructificación se ve beneficiada por temperaturas elevadas en el suelo y un alto contenido de humedad edáfica (Hering, 1966; Peredo et al., 1983). Sin embargo, son pocos los estudios que han cuantificado el efecto específico de estas variables climáticas en la producción de macromicetos, siendo más comunes en la literatura los estudios solamente descriptivos (Laganà et al., 2002).

La teledetección ofrece grandes posibilidades para avanzar en el conocimiento de la naturaleza, aunque todavía no se ha alcanzado todo su potencial debido a la necesidad de mejorar la resolución espacial, espectral y temporal de los datos. Además, es fundamental aplicar un mayor rigor científico en la interpretación de los resultados, evitando extraer conclusiones definitivas de estudios medioambientales realizados con técnicas de teledetección. Los modelos utilizados para interpretar estos datos deben centrarse en eliminar los efectos de la variabilidad en las condiciones de captura, la

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones



distorsión atmosférica y la influencia de parámetros como la posición del sol, la pendiente, la exposición y la altitud (Sacristán-Romero, 2006).

El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) evalúa el vigor de la vegetación mediante la relación entre las bandas del infrarrojo cercano (700-1300 nm) y rojo (650 nm). Su fórmula es $(\text{infrarrojo} - \text{rojo}) / (\text{infrarrojo} + \text{rojo})$, con valores de -1 a +1 que indican desde vegetación débil hasta vigorosa. Variantes como SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) y ARVI (Índice de Vegetación Resistente a la Atmósfera) ajustan el NDVI para corregir efectos del suelo y la atmósfera, mejorando la precisión en distintas condiciones (Manrique, 1999).

El NDMI (Índice de Humedad Normalizada) mide la humedad de la vegetación usando reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de onda corta (SWIR). Su fórmula es $(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$, con valores entre -1 y +1, donde valores más altos indican mayor contenido de agua (EOS, n.d.). Khanmohammadi et al. (2015) y Kheradmand et al. (2015) destacaron la precisión del NDMI para estimar la humedad del suelo utilizando imágenes satelitales.

Este trabajo tiene como objetivo explorar la aplicación de la teledetección para el monitoreo de las condiciones edafoclimáticas en diferentes ambientes para examinar la relación entre estos factores y la presencia de *Lactarius deliciosus*. A través de la integración de tecnologías avanzadas y el análisis de datos ambientales, se busca contribuir al conocimiento y manejo de este hongo comestible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

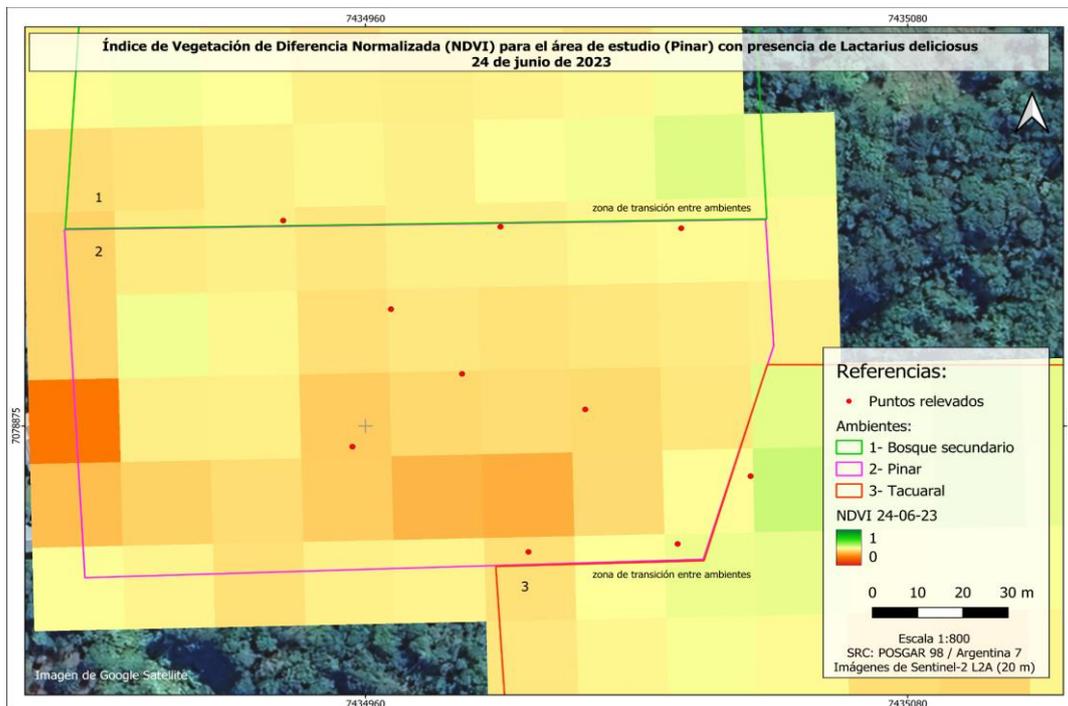
El estudio se realizó en un pinar experimental abandonado de 15 años, ubicado en Eldorado, Misiones (coordenadas: -26,415787°, -54,651553°), con una superficie de 1 hectárea con un sotobosque dominado por helechos y *Piper sp.* El área de estudio ocupada por el pinar se encuentra influenciada al norte por un bosque secundario y al sureste por un ambiente ocupado por tacuaras (*Phyllostachys sp.*). Para estudiar la especie de *L. deliciosus* se seleccionaron aleatoriamente 10 parcelas de 10 m², distribuidas en el centro (ambiente ocupado puramente por pinos – “Pinar”) y bordes del área (que corresponden a zonas de transición entre pino-bosque secundario - “Sotobosque” y pino-tacuara - “Tacuaral”) (Mapa 1). Entre marzo y agosto de 2022 y 2023, se registró la abundancia contabilizada por fructificaciones de hongos en un área de 1 m² en el centro de cada parcela de 10 m² establecida al azar, el día 26 de cada mes.

Se seleccionaron tres puntos de muestreo para los índices NDVI y NDMI en las zonas de Tacuaral y Sotobosque, y cuatro puntos en el Pinar. Los meses fueron escogidos estratégicamente para representar momentos de mayor y menor abundancia de *L. deliciosus* durante los dos años de estudio (2022 y 2023), con el fin de analizar la relación entre estos índices y la abundancia de la especie. Las fechas seleccionadas corresponden a meses clave, en los que se observaron picos de abundancia del hongo y otros con menor proliferación, permitiendo evaluar la variabilidad temporal y espacial en los diferentes ambientes.

Para el análisis multiespectral, se utilizaron imágenes de Sentinel-2 L2A con bandas del rojo, verde, azul, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta, con una resolución de 20 metros. Se seleccionaron imágenes con baja nubosidad cercanas a las fechas de muestreo, siendo estas: 19-06-2022, 23-08-2022, 21-03-2023 y 24-06-2023. Se calcularon los índices NDVI y NDMI para toda la zona de estudio para evaluar la cobertura vegetal y la humedad del suelo y se generaron mapas temáticos (Mapa 1) para analizar la correlación entre los índices y la abundancia de *L. deliciosus* mediante gráficos de dispersión. Se realizó un análisis de regresión lineal simple. Este método fue seleccionado para modelar la relación entre la variable independiente (abundancia de *L. deliciosus*) y la variable dependiente (valor del índice NDMI en uno de los casos y para el otro los índices NDVI).

Para cada parcela estudiada, se asignó un píxel de 20 m², correspondiente a la resolución de las imágenes de Sentinel-2 L2A utilizadas en el análisis multiespectral. Los valores de NDVI y NDMI se extrajeron de estos píxeles para cada punto relevado, permitiendo evaluar la relación entre la cobertura vegetal, la humedad del suelo y la abundancia de *L. deliciosus* en las parcelas seleccionadas. Para garantizar la validez de los resultados, se llevaron a cabo controles de calidad. Estos incluyeron una

revisión manual de los conteos de basidiomas de *L. deliciosus* en las parcelas, así como la verificación de la precisión geográfica de las imágenes satelitales utilizadas en el cálculo de los índices. Estos pasos fueron fundamentales para asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos y del análisis realizado.



Mapa 1. Mapa de índice de Diferencia normalizada (NDVI) para el área de estudio (Pinar) con presencia de *L. deliciosus*. Imagen 24 de junio 2023

3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

El análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mostró una correlación débil con la abundancia de *L. deliciosus* en todos los ambientes estudiados. En el Tacuaral (Gráfico 1a), las áreas con mayores valores de NDVI tendieron a mostrar una mayor abundancia del hongo, pero la relación fue débil. Esto es consistente con Manrique (1999), quien observó que el NDVI no siempre captura todos los factores determinantes en la distribución de hongos. Esto sugiere que la calidad del suelo y la hojarasca pueden ser factores más relevantes. En el Pinar (Gráfico 1c), la tendencia observada fue similar, pero la amplia dispersión de los datos sugiere que el NDVI no es el único factor determinante. Laiho (1970) argumenta que factores edáficos, como la composición del suelo y las acículas de pino, tienen un impacto significativo en la producción de hongos, lo que podría explicar la falta de una correlación fuerte. En el sotobosque (Gráfico 1b), la relación entre NDVI y la abundancia del hongo fue también débil. La amplia dispersión de los datos sugiere que factores ecológicos adicionales, como la calidad del sotobosque y las interacciones micorrícicas, pueden influir en la presencia del hongo.

Con respecto al Índice de Humedad Normalizada (NDMI) mostró una relación débil con la abundancia de *Lactarius deliciosus* en todos los ambientes evaluados. En el Tacuaral (Gráfico 1d), la tendencia positiva del NDMI con la abundancia del hongo fue débil. La falta de una correlación fuerte puede deberse a que factores como la calidad del sustrato y la presencia de acículas de pino tienen una influencia mayor que la humedad de la vegetación, como sugieren estudios previos (Khanmohammadi et al., 2015). En el Pinar (Gráfico 1f), el NDMI se mantuvo constante con la abundancia del hongo, reforzando la falta de correlación significativa. Esto indica que la humedad no es un predictor confiable de la presencia del hongo en este ambiente específico, lo que sugiere que otros factores podrían estar influyendo. En el Sotobosque (Gráfico 1e), la falta de correlación entre NDMI y abundancia del hongo refuerza la idea de que la humedad no es un factor determinante. Esto sugiere que factores ambientales adicionales, como la calidad del sustrato y las condiciones del sotobosque, tienen un impacto mayor en la abundancia de *L. deliciosus*.



Los resultados indican que tanto el NDVI como el NDMI tienen una correlación débil con la abundancia de *L. deliciosus*. Aunque estos índices proporcionan información sobre el vigor de la vegetación y la humedad, no capturan completamente los factores que afectan la distribución del hongo. Estudios previos, como los de Laiho (1970) y Hering (1966), sugieren que factores edáficos y climáticos pueden tener un impacto más considerable en la fructificación de hongos.

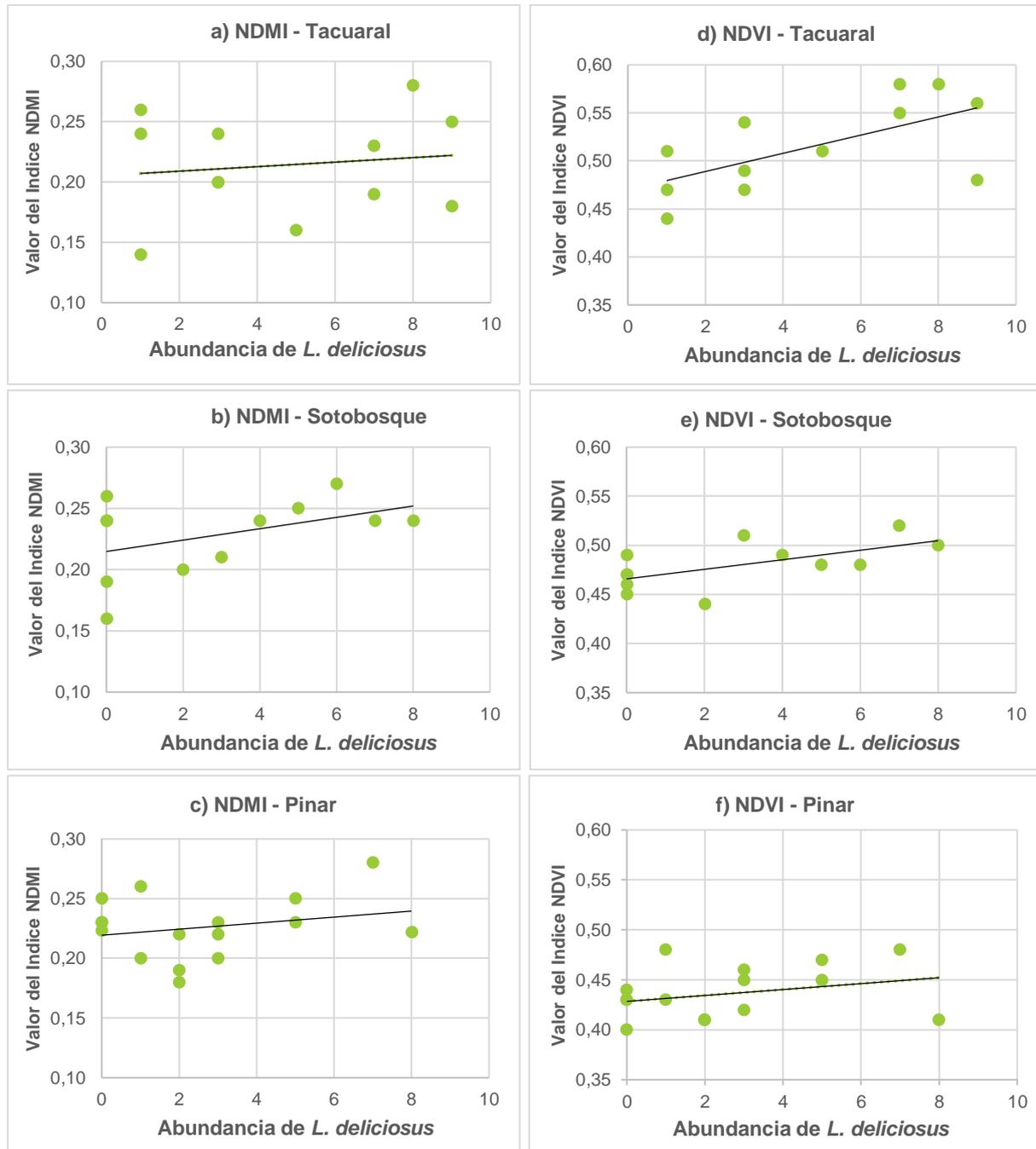


Gráfico 1. Relación entre la abundancia de *Lactarius deliciosus* y el índice NDMI: a) en el Tacuaral, b) en el Sotobosque, c) en el Pinar. Relación entre la abundancia de *Lactarius deliciosus* y el índice NDVI: d) en el Tacuaral, e) en el Sotobosque, f) en el Pinar.

Este estudio resalta la necesidad de investigaciones adicionales que integren una variedad más amplia de factores ambientales y que utilicen técnicas de teledetección con mayor resolución para entender mejor los determinantes de la distribución de *L. deliciosus*. Un enfoque multidimensional en el análisis de datos podría ofrecer una visión más completa de los factores que influyen en la abundancia de este hongo en distintos ecosistemas.



4. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que tanto el NDVI como el NDMI presentan correlaciones débiles con la abundancia de *L. deliciosus* en los ambientes estudiados. Aunque ambos índices proporcionan información valiosa sobre el vigor de la vegetación y la humedad, respectivamente, su capacidad para predecir la presencia y abundancia de *L. deliciosus* es limitada en los contextos analizados. Esto resalta la necesidad de considerar otros factores ecológicos y edáficos, como la calidad del suelo y la composición de la hojarasca, que podrían estar influyendo en la distribución de este hongo. Futuros estudios deberían integrar una gama más amplia de variables ambientales y utilizar técnicas de teledetección con mayor resolución para mejorar la comprensión de los factores que afectan la abundancia de *L. deliciosus*.

5. LITERATURA CITADA

- CHUNG GUIN-PO, P. 2022. Crecimiento in vitro de cuatro cepas de *Lactarius deliciosus* bajo diferentes niveles de pH y medios de cultivo. *Ciencia & Investigación Forestal*, 28(3), 69. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.575>.
- EOS. (n.d.). NDMI - Normalized Difference Moisture Index. EOS. <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndmi/> [consultado el 11 de agosto de 2024]
- HERING, T.F. 1966. The terricolous higher fungi of four lake district woodlands. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 49: 369-383.
- KHANMOHAMMADI, F.; HOMAEI, M.; NOROOZI, A.A. 2015. Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 4: 37-45.
- KHERADMAND, V.; JALALI MAJIDI, M.; KHAZAMI, S. 2015. Investigating the possibility of estimating soil moisture from satellite images using the thermal bands. In: *Proceedings of the International Congress on the Ability of the Community in the Field of Management, Economics, Entrepreneurship and Cultural Engineering*, Tehran, Nov 4, 2016: 1-11.
- LAGANÀ, A.; ANGIOLINI, C.; LOPPI, E.; SALERNI, E.; PERINI, C., BARLUZZI, C.; DE DOMINICIS, V. 2002. Periodicity, fluctuations and successions of macrofungi in fir forests (*Abies alba* Miller) in Tuscany, Italy. *For. Ecol. Manag.* 169: 187-202.
- LAIHO, O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. *Acta For. Fen* 79: 1-35.
- MANRIQUE, E.G. 1999. Índice de vegetación. Aplicación del NDVI. En S. Castaño Fernández & A. Quintinilla Roedas (Eds.), *Teledetección: Avances y aplicaciones*. VIII Congreso Nacional de Teledetección (pp. 217-219). Albacete, España. Universidad de Málaga.
- NIVEIRO, N.; POPOFF, O.F.; ALBERTÓ, E.O. 2009. Hongos comestibles silvestres: especies exóticas de *Suillus* (Boletales, Basidiomycota) y *Lactarius* (Russulales, Basidiomycota) asociadas a cultivos de *Pinus elliotii* del noreste argentino. *Bonplandia*, 18(1), 65-71.
- PEREDO, H., M. OLIVA, A. HUBER. 1983. Environmental factors determining the distribution of *S. luteus*, fructification in *Pinus radiata* grazing-forest plantations. *Plant and soil* 71: 363-370.
- SACRISTÁN-ROMERO, F. 2006. La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, [S.I.], v. 8, n. 1, p. 315-356, ene. 2006. ISSN 2594-102X. Disponible en: <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10575>. Fecha de acceso: 11 jul. 2024.
- SINGER, R. 1956. The *Armillaria mellea* group. *Lloydia* 19 (3): 173-187. - 1957. Las Boletáceas Austroamericanas. *Lilloa* 28: 247-268. - 1969. *Mycoflora Australis*. Lehre. 1. Cramer, 405 pp.



ANEXO



XXXVII Jornadas Forestales de Entre Ríos

4 de octubre de 2024

Cartilla de Campo

Visita a Campo La Lata, Forestal Argentina S.A.



Autores: *Cosoli, Ulises; García, María de los Ángeles; Flores Palenzona, Mario; Alberti, Sebastián.*

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina



Introducción

Situación actual de la compañía



Central Puerto es una empresa de capitales nacionales dedicada a la generación de energía, que a partir del 2023 dio un giro y diversificó su negocio adquiriendo los activos forestales de Masisa en Argentina (Corrientes y Entre Ríos) y luego la compañía forestal EVASA (Corrientes) perteneciente al fondo de inversión de la Universidad de Harvard. De esta manera, Central Puerto se convierte en una de las principales empresas forestales de Argentina, con más de 160 000 hectáreas de patrimonio, llevando como nombre de referencia Forestal Argentina Sociedad Anónima, F.A.S.A.

Forestal Argentina tiene como objetivo la producción de madera de manera sostenible, en base a la creación y desarrollo de un patrimonio forestal de pino y eucalipto concentrado en las zonas del río Uruguay y en la zona centro en las provincias de Entre Ríos y Corrientes. Con estos bosques se busca maximizar la rentabilidad de los negocios forestales y establecer la base para un desarrollo industrial futuro.

A través de su plan de manejo, Forestal Argentina apunta a aprovechar todos los productos que brinden sus bosques y que puedan extraerse de forma rentable sin atentar contra la sostenibilidad, priorizando la producción y comercialización de rollos para uso industrial sólido, de alto valor propio y con alta capacidad de agregar valor.

Actualmente Forestal Argentina abastece de materia prima a aserraderos, plantas industriales y a plantas celulósicas de la región.

La compañía tiene un volumen anual de producción aproximado de 800 000 m³, del que corresponde el 65 % a pino y el 35 % a eucalipto; de ese total, el 85 % corresponde a trozos aserrables y el resto se distribuye entre la industria de trituración y la fabricación de postes. El plan de manejo para el año 2024 comprende la reforestación de unas 4000 hectáreas que incluyen predios de las provincias de Entre Ríos y Corrientes.

Parada 1. Manejo de plantaciones clonales



LA LATA (1007)

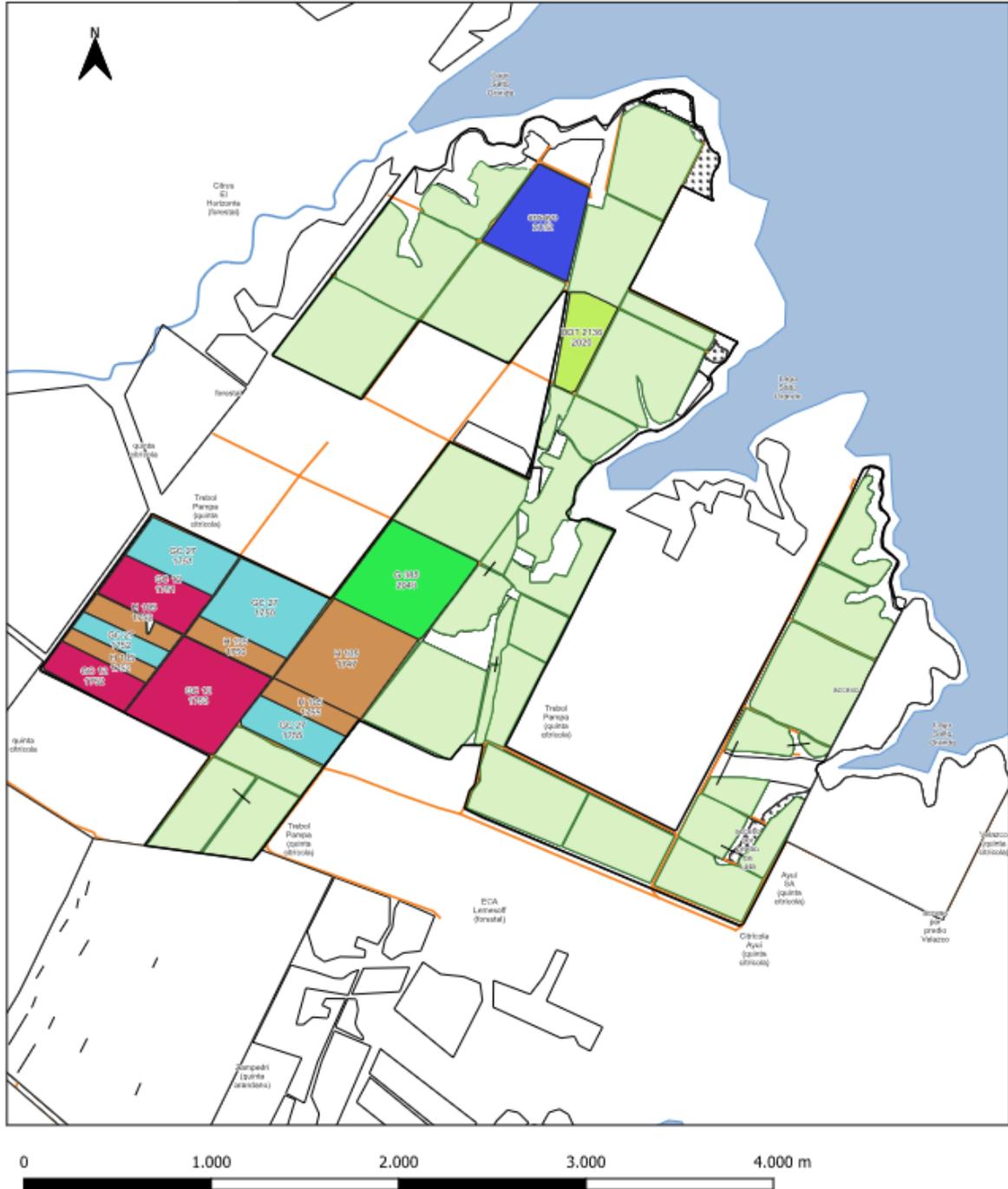


Figura 1. Lotes de plantación campo La Lata

El predio La Lata cuenta con una superficie total de 723,8 ha, de las cuales el 86 % se halla forestado (625,2 ha). Del total forestado, el 85,9 % corresponde a plantaciones originales/reforestaciones (622,1 ha), mientras que el 0,4 % restante corresponde a rebrotes (3,1ha). Para el establecimiento de las plantaciones comerciales se ha utilizado material seminal (72 % - 517,6 ha), clones puros de *Eucalyptus grandis* (5 % - 36,7 ha) y clones híbridos de *E. grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* (23 % - 166,4 ha).

En lo que respecta a *Eucalyptus sp.*, se utilizan 2 esquemas de manejo según se trate de plantaciones realizadas con material seminal o clonal (cuadro 1). Hasta el año el año 2023 la empresa plantó material de semilla y clones en una proporción de 40 % a 60 %, respectivamente, pero a partir del año 2024 la compañía tomo la decisión de invertir en genética para todas sus plantaciones de este género, por lo que el manejo con raleos a desecho desaparecerá luego de 2025.

ESQUEMA DE MANEJO DE EUCALYPTUS					
SEMILLA	Plantación	Poda 1	Raleo 1	Poda 2	Turno de Corta
DENSIDAD	700	450	250	450	420
ALTURA NOMINAL		2,3		4,5	
EDAD (AÑOS)	0	2	2	3	12 a 14
CLONALES	Plantación	Poda 1	Raleo 1	Poda 2	Turno de Corta
DENSIDAD	600	550	0	520	
ALTURA NOMINAL		2,1		4,5	
EDAD (AÑOS)	0	1-1,5		2-2,5	10 a 12

Cuadro 1. Esquemas de manejo silvícola de plantaciones de *Eucalyptus sp.*

En esta parada se muestran diferentes clones (cuadro 2) de entre 4 y 7 años, establecidos como rodales comerciales.

RODAL	CLONES	Fecha plantación	ARB/HA	Dap 2023(cm)	Altura 2023 (m)	Volumen 2023 m3/ha	Dap 2024 (cm)	Altura 2024 (m)	Volumen 2024 (m3/ha)
1747	H105	07/09/2017	590	14	15	60	15	17	86
1753	GC12	13/09/2017	498	15	17	71	17	19	99
1755	GC27	07/09/2017	460	15	18	77	17	19	100
1755	H105	07/09/2017	460	15	16	64	17	16	84
2046	G385	10/09/2020	500	10	10	21	14	11	46

Cuadro 2. Datos dasométricos correspondientes a los lotes de plantación de la parada 1.

Parada 2. Ensayo de espaciamiento inicial de plantaciones clonales

Las plantaciones clonales requieren ajustar el manejo de acuerdo con las características y el desempeño particulares de cada material. Conocer la respuesta de los clones al espaciamiento inicial y otros tratamientos silvícolas es fundamental para planificar los manejos de manera más eficiente. Algunos resultados obtenidos de ensayos de clones, llevados a cabo por INTA Concordia con la colaboración de empresas de la región, muestran tendencias de respuesta en crecimiento y propiedades de la madera en diferentes espaciamientos iniciales.

En el predio La Lata se encuentra uno de estos ensayos, instalado en octubre de 2021 en el marco del Convenio de cooperación técnica de INTA-Forestal Argentina. El ensayo evalúa los clones de *E. grandis* FASA60 y DDT 2136 de Pomera, y el híbrido *E. grandis x E. camaldulensis* GC INTA 8 en 3 espaciamientos iniciales: 5 m x 3 m (667 plantas/ha), 5 m x 4 m (500 plantas/ha) y 5 m x 5 m (400 plantas/ha). En diseño de parcelas divididas con 4 bloques completos al azar, la distancia media entre líneas se mantuvo fija en 5 m, variando la distancia entre plantas. El ensayo se plantó en condiciones de sequía, lo que afectó la supervivencia.

A continuación, se presentan los resultados de medición de DAP y altura total a los 24 meses de edad del ensayo (figura 2). Es notable la gran afectación por fallas, lo que se refleja en la densidad actual (D.a.).

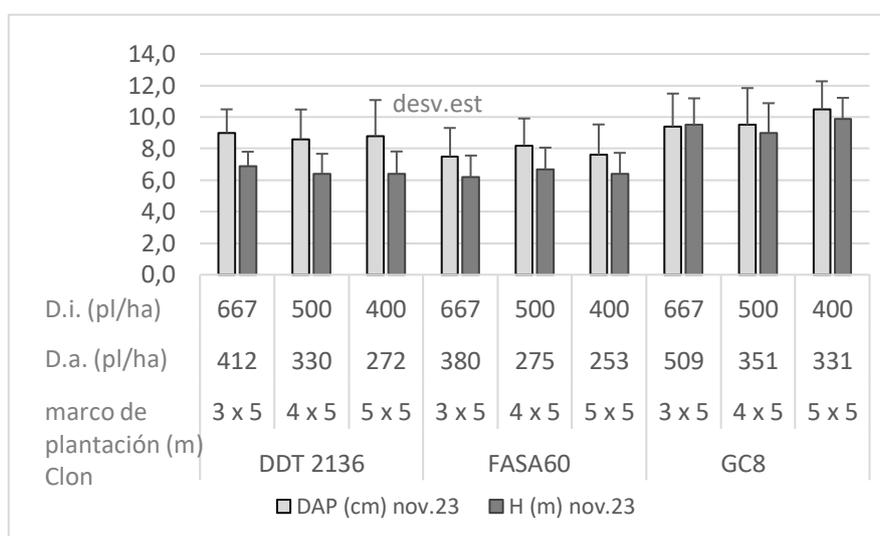


Figura 2. Promedios de DAP y altura total de los clones en cada espaciamiento inicial, a los 24 meses de establecido el ensayo. Los desvíos estándar muestran gran variabilidad en todos los clones y espaciamientos. (D.i.: densidad inicial, plantas/ha).

En la figura 2 se observa mayor DAP y altura medios en el clon híbrido en todos los tratamientos, en comparación con los clones de *E. grandis*. Según Harrant *et al.* (2022) los clones híbridos muestran mayor crecimiento inicial en altura y DAP en comparación con materiales puros de *Eucalyptus grandis*. Esas diferencias se mantienen en los primeros dos a tres años de edad de las plantaciones, y durante periodos mayores en sitios con limitaciones.

A continuación, se presenta una caracterización de los materiales clonales empleados en el ensayo:

- **Clon DDT2136:** es un clon de *E. grandis* de Pomera S.A., indicado como de los menos sensibles a frío entre sus clones puros. En evaluaciones a los 5 años presenta una densidad básica promedio de 0,466 g/cm³ y un índice de rajado del 12 %. En cuanto a sus características productivas, a esa misma edad presenta buena forma y valores promedio de DAP y altura de 25,6 cm y 28,3 m, respectivamente (Vargas, 2015. En: <http://www.cursobioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/1.-Producci%C3%B3n-clonal-de-Eucalyptus-Vargas.pdf>).
- **Clon GC8:** es un clon híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, desarrollado por INTA Concordia. Este clon se caracteriza por presentar forma de fuste regular, una densidad básica promedio de 0,525 g/cm³ y un índice de rajado del 32 %, determinados a los 6 años. En cuanto a sus características productivas, presenta incremento medio anual de 50,1 m³/ha. Otras características destacadas son su mayor tolerancia al daño por heladas y moderado a bajo daño por *Leptosive invasa* (Harrant L., comunicación personal, 26 de septiembre de 2024).
- **Clon FA60:** es un clon puro de *E. grandis* desarrollado por Forestal Argentina S.A. En evaluaciones realizadas a los 6 años presenta forma de fuste regular, densidad básica promedio de 0,459 g/cm³ e índice de rajado del 34 %. A los 10 años alcanza valores de DAP y volumen individual superiores al de plantaciones de semilla (Dalla Tea F., comunicación personal, 26 de septiembre de 2024).



XXXVIII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

